LE MACCHINE A VAPORE A GAS E AD ARIA CALDA OPERA COMPILATA DA...

B. Besso

LE MACCHINE A VAPORE A GAS E AD ARIA CALDA

OPERA COMPILATA

DA

B. BESSO

per far seguito alle GRANDI INVENZIONI

Con 65 incisioni

MILANO
E TREVES & C., EDITORI
1869.

BIBLIOTECA UTILE

(99, 100)

LE MACCHINE A VAPORE

LE

MACCHINE A VAPORE

A GAS E AD ARIA CALDA

OPERA COMPILATA

DA

[illegible]

per far seguito alle GRANDI INVENZIONI

Con 65 incisioni

MILANO
E. TREVES & C., EDITORI
1869

AVVERTENZA DEGLI EDITORI

La macchina a vapore è l'anima dell'industria contemporanea. Non possiamo fare un passo fuori delle nostre abitazioni senza essere testimonii dei suoi effetti o godere dei suoi vantaggi; grazie a questa macchina ingegnosa, vediam compiersi veri prodigi; miracoli che i nostri antenati non avrebbero creduti realizzabili neppure cogli sforzi riuniti di tutti i loro maghi, son diventati per noi comunissimi. Macchine che richiedono soltanto una leggiera sorveglianza, emancipano l'uomo permettendogli di provvedere ai suoi svariati bisogni senza dipendere dalle volubili forze naturali. La più ostinata siccità non rallenta neppur un istante il movimento dei molini a vapore, la calma più perfetta e persino il contrario soffio dei venti, non impedisce il rapido corso dei piroscafi che solcano in ogni senso i fiumi, i laghi, i mari, gli oceani dei due mondi. Le filtrazioni d'acqua non sono più un insormontabile ostacolo pel minatore; potentissime pompe, mosse dal vapore, succhiano l'acqua

dalle più profonde miniere, ed i tesori, da milioni di secoli sepolti nelle viscere della terra, vengon portati alla luce del sole. La locomotiva non conosce ostacoli, in qualunque epoca dell'anno, così sotto il sollione come nei più rigidi inverni; a qualunque ora del giorno e della notte essa corre con inaudita velocità da un capo all'altro dei continenti, trasporta migliaia di viaggiatori, segna col suo passaggio la diffusione dei lumi, la distruzione dei pregiudizii, il trionfo della ragione. Tutte le industrie ricorrono alle macchine a vapore, dall'agricoltura che ci dà il pane fisico, alla tipografia che ci dà il pane intellettuale; le macchine a vapore filano e tessono, con mirabile precisione, il cotone ed il lino, la lana e la seta, trasformano queste materie prime, e ce le rendono foggiate in stoffe svariatissime. Le macchine a vapore ci fabbricano migliaia di utensili e migliaia di strumenti d'ogni genere, dalle più modeste stoviglie di terra ai più squisiti strumenti astronomici; dai più sottili aghi, dalle più flessibili penne di acciaio, ai più giganteschi e rigidi alberi motori, alle più robuste rotaie di ferro. Non meno importanti servigi esse rendono all'arte delle costruzioni: configgono i grossi pali nel terreno, impastano i cementi, sollevano enormi pietre, gigantesche travi; con mirabile facilità, permettono di erigere fabbriche colossali in pochi mesi e con sensibile risparmio di spesa. Son macchine a vapore che perforano pozzi artesiani, che scavano il canale di Suez. Le macchine a vapore tendono ovunque a sosti-

tuirsi ai dispendiosi motori animali, ed il filantropo saluta con gioia la diffusione di queste macchine mirabili che sottraggono l'uomo al lavoro brutale, lo riscattano dalla degradazione cui fatalmente conduce l'automatismo e gli permettono di coltivare la sua intelligenza.

Macchine tanto ingegnose e tanto diffuse meritano un posto speciale nella nostra raccolta. Crediamo quindi che i lettori della *Biblioteca Utile* vorranno far buon viso a questo volume nel quale, senza sacrificare la precisione scientifica, il compilatore ha procurato di esporre in modo chiaro e popolare la storia e la descrizione delle macchine a vapore. Questo volume non è destinato ai meccanici di professione che potranno trovare ampie e ben più particolareggiate notizie in opere italiane e straniere che diffusamente trattano delle macchine a vapore; noi dedichiamo questo volume alla gioventù ed al popolo, agli uomini d'affari, alle madri, classe di pubblico a cui noi amiamo dedicare i nostri libri perchè servano loro di nutrimento sano e gustoso.

Senza nuocere alla continuità della descrizione tecnica e seguendo le tracce del Figuier, il compilatore ha procurato di rendere amena la lettura di questo volume inserendo opportunamente alcuni cenni biografici intorno ai principali inventori che contribuirono a creare e migliorare le macchine a vapore.

Ma appena si può dire completo questo glorioso trovato del nostro secolo, e già l'ingegno umano

si è volto ad altre ricerche per ampliarne le conquiste. Le macchine a vapore hanno ormai numerose rivali. Le macchine ad aria calda d'Ericson e di Laubereau, la motrice a gas dei nostri Barsanti e Matteucci, quelle di Lenoir e di Hugon, tutto ciò è descritto nella seconda parte di questo volume.

Siam certi che lo stesso favore che ebbero, ed hanno tuttavia, le *Grandi Invenzioni* del signor Besso, accoglierà questo libro che ne è la continuazione, che ne è anzi parte integrante, poichè fu staccato da quello, solo per dargli tutta l'ampiezza che l'argomento richiedeva. Anche questo volume avrà un pronto seguito in altro che descriverà i Battelli a vapore, i Fari, i Segnali marittimi ed i Mezzi di salvamento.

Ciò incoraggierà autore ed editori a darvi presto altri libri sulle Strade ferrate e sull'Elettricità per completare questa specie d'enciclopedia popolare, che da qualche anno andiamo apprestando al pubblico, e che finora, osiamo dire, mancava all'Italia.

Milano, giugno 1869

E. T.

LE MACCHINE A VAPORE

I.

La voce pubblica e la macchina a vapore. — Il mastodonte di ferro che si nutre d'acqua e carbone — Applicazioni svariatissime — Domande obbligate — Tendenza ad espandersi dei gas e dei fluidi aeriformi, pressioni da questi esercitate sulle pareti dei vasi in cui trovansi racchiusi. — Una vescica ripiena di gas si espande nell'aria rarefatta, si condensa nell'aria compressa — Aumento nella forza espansiva dei gas all'aumentare della temperatura — Anche il vapor acqueo è un fluido aeriforme — Vapore *visibile* e vapore *invisibile* — Spazio *saturo* di vapore — Spiegazione di alcuni fenomeni assai comuni — Coperchio d'una pentola sollevato dal vapore — Principio fondamentale della macchina a vapore.

Chi, nel nostro secolo, non ha più o meno udito parlare della macchina a vapore? chi non conosce, almeno sommariamente, i prodigi ch'essa va operando tuttodì? i benefici che questa macchina portentosa arreca all'umana società? Applicata alle ferrovie ed ai battelli a vapore essa sopprime quasi le distanze, permette viaggi altre volte reputati impossibili o per lo meno difficilissimi, affratelle i popoli, favorisce lo sviluppo e la diffusione delle idee; applicata alle industrie, libera l'uomo dai lavori più faticosi, aumenta a dismisura le produzioni industriali, ne attenua il prezzo di costo e permette alle classi meno agiate di godere un benessere materiale che prima d'ora sembrava riservato soltanto ai ricchi.

Al solo udir discorrere di questa macchina meravigliosa, ognuno si sente pungere dal desiderio di conoscere davvicino questo mastodonte di ferro, che ben a ragione simboleggia il moderno progresso, che lavora giorno e notte senza interruzione, senza mai stancarsi, che si nutre di acqua e carbone, che nelle sue infermità è curato a colpi di martello. Quà, anima con moto febbrile le ruote o l'elice d'una nave e la spinge rapidamente sulle onde del mare, d'un lago o d'un fiume, non solo senza il sussidio di remi o di vele, ma ben anco in direzione contraria a quella del vento e delle correnti; là, sbuffando e sibilando, trascina sulle rotaie, con corsa sfrenata, lunghi convogli composti di numerosi carozzoni entro ai quali stanno a centinaia i viaggiatori! Altrove, la stessa macchina anima un'intera officina, solleva magli pesantissimi sotto ai cui colpi nulla resiste, fa girare robusti laminatoi che riducono il ferro in sottili lastre, muove formidabili cesoie, potenti succhielli che tagliano o forano il ferro con la facilità con cui si taglia o si fora il legno. Vediamo la stessa macchina compiere lavori svariatissimi, dai più minuti ai più colossali; dar vita a laboratorii di precisione, a filature e tessiture di lino, di canape, di cotone e di seta, arar la terra, battere il grano, far girare i mulini, pompar l'acqua dal fondo delle miniere, sollevar pesi ed aiutar l'uomo in mille altri modi. E udendo che tutti questi miracoli si compiono con un po' d'acqua ed un po' di carbone, sapientemente utilizzati nella macchina a vapore, chi non amerà conoscere la intima struttura di questa macchina meravigliosa, il suo modo d'agire? chi non vorrà informarsi dell'epoca in cui fu inventata? chi non chiederà il nome dell'inventore?

A queste varie domande ci ingegneremo rispondere

svolgendo in breve la storia e la descrizione della macchina a vapore, ma anzitutto dobbiamo richiamare alla mente alcune brevi nozioni di fisica, senza le quali riescirebbe difficile rendersi conto dell'azione meccanica del vapore.

Parlando dell'effetto prodotto dall'esplosione della polvere nelle armi da fuoco, e in altro libro degli aerostati, abbiam già avuto occasione di accennare ad una singolare proprietà posseduta da tutti i fluidi aeriformi, detti anche gas e vapori. I fluidi aeriformi, quando sono costretti a rimanere in uno spazio chiuso, tendono sempre ad espandersi, tendono cioè ad occupare uno spazio più ampio di quello in cui trovansi racchiusi. Quando tale espansione dei fluidi aeriformi è contrastata dalla resistenza opposta dalle pareti del recipiente, queste pareti, fino a che rimane costante la temperatura del fluido aeriforme, subiscono una pressione tanto maggiore quanto più grande è la quantità di fluido aeriforme racchiusa nel recipiente. Se le pareti del recipiente sono cedevoli, come sarebbe il caso d'una vescica elastica, questa andrà gonfiandosi, per l'interna espansione del fluido aeriforme imprigionato, fino a che la forza espansiva che agisce dall'interno all'esterno di quel recipiente elastico, verrà equilibrata dalla pressione che si esercita esternamente sulle pareti del recipiente, pressione che tenderebbe a comprimerlo. Al diminuire di questa pressione esterna, tornerebbe ad avere il sopravvento la forza espansiva del fluido aeriforme imprigionato, mentre invece il recipiente elastico dovrebbe comprimersi, ed il fluido aeriforme contenutovi dovrebbe condensarsi, all'aumentare della pressione sulle pareti esterne del recipiente elastico.

Entrambi questi fatti possono essere verificati spe-

rimentalmente: introducendo una vescica ben chiusa e contenente un fluido aeriforme, sotto ad una campana pneumatica, estraendo a poco a poco l'aria dalla campana, la vescica va gradatamente gonfiandosi; se le pareti della vescica presentano debole resistenza, e se continua l'estrazione dell'aria dalla campana, giunge finalmente un istante in cui il fluido aeriforme, racchiuso nella vescica, preme con tanta forza quelle pareti — debolmente premute esternamente dall'aria molto rarefatta che ancor rimane sotto alla campana — da squarciarle con fracasso. Questo fenomeno non dovrebbe riescirvi nuovo: rammenterete certamente che parlando degli aerostati a gas abbiamo avvertito non essere prudente il riempirli completamente di gas poichè l'inviluppo esterno del pallone, che presso a terra subisce tutta la pressione atmosferica, trovasi soggetto a pressione ognor più debole di mano in mano che, sollevandosi nell'aria, incontra strati d'aria semprepiù leggieri. I gas contenuti nel pallone si espandono, lo gonfiano, e, premendo con forza ognor crescente sull'involucro, possono squarciarlo.

L'opposto avverrebbe se la vescica elastica, ripiena di fluido aeriforme, venisse introdotta sotto ad una campana, ripiena d'aria, comunicante con un apparecchio di compressione; mercè quest'apparecchio si può gradatamente aumentare la pressione esercitata dall'aria sulle pareti esterne della vescica, il fluido in questa contenuto riescirebbe compresso, e la vescica diminuirebbe di volume.

Aggiungiamo, e questo è un fatto importantissimo, che la forza d'espansione dei fluidi aeriformi aumenta considerevolmente coll'aumentare della loro temperatura, e viceversa.

Il vapor acqueo è anch'esso un fluido aeriforme;

per conseguenza anch'esso tende continuamente ad espandersi ed esercita una pressione tanto maggiore, sulle pareti del vaso in cui viene racchiuso, quanto più grande è la quantità di vapore imprigionata, quanto più elevata è la sua temperatura e quanto più piccola è la capacità del vaso.

Contrariamente alla comune credenza, il vapor acqueo è perfettamente trasparente ed incolore, dalla superficie dei mari, dei fiumi, dei laghi, degli stagni, da tutti i corpi d'acqua, svolgesi continuamente vapor acqueo in quantità più o meno grande a seconda della temperatura dell'acqua e dell'aria sovrastante; in generale questo vapore rimane *invisibile*, si confonde con l'atmosfera. Vedremo ora in quali casi esso si trasforma in *vapore visibile* che è quello più generalmente conosciuto.

Se in uno spazio perfettamente chiuso, ad esempio una stanza chiusa ermeticamente e mantenuta a temperatura invariabile, entra un getto continuo di vapore, questo rimarrà dapprincipio invisibile, l'aria contenutavi rimarrà perfettamente limpida e trasparente; ma continuando a sopraggiungere vapore, arriverà più o meno presto un istante in cui la stanza conterrà tanta quantità di *vapore invisibile* da non poterne ricevere la più lieve particella ed il vapore sopraggiungente potrà bensì penetrare nella stanza ma a condizione di condensarsi in minutissime goccioline, trasformandosi in *vapore visibile* o *nebbia*. Dicesi allora che quello spazio è *saturo* di vapore.

Aumentando la temperatura di quello spazio, esso potrà ricevere nuova quantità di vapore invisibile; abbassando invece la temperatura di quello spazio, una determinata quantità di vapore invisibile dovrà necessariamente condensarsi e divenir visibile.

Ne viene quindi che uno spazio determinato, mantenuto a data temperatura, non può contenere più d'una determinata quantità di vapor acqueo invisibile o perfetto. Così ad esempio lo spazio d' un metro cubico mantenuto alla temperatura di + 20° C può contenere esattamente 17.02 grammi di vapor acqueo perfetto; se a questa quantità di vapore, racchiusa in detto spazio, si aggiunge altro vapore, allora o la quantità aggiunta od una pari quantità di quello che già vi era, si condensa e passa allo stato visibile. L'egual fenomeno si verificherebbe se, rimanendo i soli 17.02 grammi di vapore, entro lo spazio d' un metro cubico, la temperatura del medesimo si abbassasse della più lieve quantità. L'opposto accadrebbe se la temperatura di quello spazio andasse aumentando; in proporzione dell'aumentata temperatura, aumenterebbe anche la quantità di vapor acqueo che, in quello spazio, potrebbe rimanere allo stato perfetto. Mercè questi dati potremo renderci conto di parecchi fenomeni che vediam ripetersi giornalmente sotto ai nostri occhi:

« Ognuno dice (1) che una caldaia produce vapore quando si vede fumare: ma non tutti si persuadono facilmente che essa diffonde vapori anche quando non se ne vede uscir nulla. Eppure l'unica differenza sta in ciò, che nel primo caso il vapore è allo stato visibile, mentre nel secondo è allo stato aeriforme od invisibile. E può darsi benissimo che un corpo d'acqua svapori talvolta più abbondantemente quando non mostra alcun segno di evaporazione, che non quando sparge un densissimo fumo. Nel fatto una piccola quantità di vapor acqueo basta a saturare un'aria

(1) AMBROSOLI, *Fisica*, pag. 1121.

fredda e già ricca di vapore — o, come dicesi, *umida* — laddove, una quantità anche molto maggiore di vapore, può essere sufficiente a saturare un'aria calda e povera di vapore — o, come dicesi, *secca*. — Perciò in un giorno di inverno, e massimamente se il tempo sarà umido, potrà apparire al disopra dell'acqua un folto fumo, e in un giorno d'estate, massimamente se il tempo sarà asciutto, potrà non apparir nulla, anche se la evaporazione sarà molto più abbondante. Similmente, il nostro fiato contiene sempre molto vapore: ma nell'estate è invisibile, perchè l'aria suol essere in tal condizione da poterlo ricevere senza condensarlo; e nell'inverno all'incontro è visibile perchè ne sopravanza a quella quantità che basta per rendere satura l'aria. E similmente, una locomotiva getta lungo il viaggio un foltissimo vapore visibile nelle fredde giornate d'inverno, ma nei giorni caldi ed asciutti d'estate, può accadere che non se ne veda uscir nulla, esso passa direttamente nell'aria allo stato aeriforme od invisibile.

« Riesce poi facile il comprendere il perchè, in tutti questi casi, il vapore dispaia sempre, tosto che giunge a qualche distanza dalla sua origine: gli è che, spargendosi nell'aria, esso viene a dividersi in molte piccole quantità, ciascuna delle quali entra essa sola in uno spazio, dove si suddivide e si sparge nuovamente, e così via via; laonde arriva presto un momento che le quantità di vapore, le quali salgono a questo modo nell'aria, si trovano minori di quelle che abbisognerebbero per saturare gli spazii che esse invadono: e allora le goccioline di vapore visibile si trasformano di bel nuovo in vapore invisibile, sicchè non ei scorge più nulla. Non è neanche difficile il rendersi conto d'un fenomeno che, a primo aspetto, sembrerebbe

contraddire a questa dottrina; e cioè che in molti casi il vapore che esce dal beccuccio d'un ramino contenente acqua in ebullizione, è completamente trasparente, è vapore invisibile e non si distingue dall'aria finchè non giunge a qualche piccola distanza dal beccuccio; quivi forma una densa nube; e più in su dispare. La cagione è che l'aria contigua al beccuccio del ramino è caldissima è perciò capace di ricevere allo stato aeriforme anche tutto il vapore uscente dal ramino, ma a distanza maggiore, il vapore entra in un'aria meno calda, e, benchè già diviso, pure è ancora in quantità troppo grande per mantenersi completamente invisibile, e perciò una parte di esso si rapprende, diviene visibile: più in su poi, siccome esso continua a diffondersi e non trova più mutazioni sensibili di temperatura, così diventa di bel nuovo invisibile per effetto della sua estesa suddivisione »

Esponendo al fuoco una pentola piena d'acqua e munita superiormente d'un coperchio che la chiuda esattamente, il vapore, che andrà grado grado svolgendosi in seno al liquido bollente, non trovando alcuna uscita, premerà con forza ognor crescente, tanto le pareti della pentola quanto la faccia inferiore del coperchio. Se le pareti della pentola sono sufficientemente resistenti, il vapore vincerà il peso del coperchio, e sollevandolo, si aprirà un varco per espandersi liberamente nell'aria. Se il coperchio è caricato da pesi che non gli permettono di sollevarsi ad onta della pressione esercitata dal vapore sottostante, e se la pentola continua ad essere riscaldata dal fuoco, il vapore imprigionatovi si riscalderà sempre più, e perciò acquisterà forza espansiva ognor maggiore, e per quanto grande possa essere la resistenza opposta dalle

pareti e dal coperchio della pentola, purchè questa rimanga esposta al fuoco — o il coperchio verrà sollevato malgrado la resistenza opposta dai pesi che lo caricano — oppure le pareti od il coperchio verranno violentemente squarciate con scoppio fragoroso, ridotte in mille frammenti, e scagliate ben lungi, dalla forza espansiva del vapore.

Questa enorme forza espansiva del vapor acqueo, fortemente riscaldato ed imprigionato in uno spazio chiuso, è il fondamento su cui si basa l'impiego del vapore nella meccanica; è il cardine su cui poggia la macchina a vapore.

II.

L'eolipila di Erone d'Alessandria — I sacerdoti teutoni ed il dio Pusterich. — Pretesa trasformazione dell'acqua in aria calda. — L'avvocato bizantino Zenone e l'architetto Antemio. — Le preghiere di Matesio da Joachimsthal. L'eolipila e il girarrosto

Il principio fondamentale, esposto nella chiusa del precedente capitolo, vi pare semplicissimo e vi farà supporre che un fatto tanto volgare, conosciuto nelle epoche più antiche, sia stato in pari tempo utilizzato; eppure passarono migliaia d'anni prima che l'umanità sapesse ricavar profitto dalla forza espansiva del vapor acqueo. Quando fu dunque inventata la macchina a vapore? A chi dobbiamo il merito dell'invenzione?

La macchina a vapore non fu inventata in un sol giorno, nè da un sol uomo, essa non uscì d'un getto, come Minerva armata dalla testa di Giove; parecchi furono gli inventori; d'altro canto però bisogna convenire che la macchina a vapore è d'origine moderna,

sendo specialmente dovuta al progresso delle scienze fisiche, quasi completamente ignorate dalla antichità. Tuttavia parecchi autori che scrissero la storia della macchina a vapore, pretesero trovare fin nei tempi più antichi, nelle tradizioni scientifiche di Grecia e di Roma, i primi germi di questa invenzione meravigliosa; noi invece, con la scorta dell'illustre Arago, diremo che questa opinione ci sembra inammissibile, e narreremo i fatti particolareggiatamente esposti dallo stesso (1), e dal Figuier (2), che corroborano l'opinione contraria.

E non ci vuòl molto a riconoscere che non siamo dalla parte del torto. La scienza che diciamo *fisica* non esisteva fra gli antichi. Soltanto poche cognizioni dovute al caso o ricavate dalla pratica delle arti più volgari componevano tutta la scienza dei Greci. L'arte di osservare, che è il segreto di studiare un fatto, isolandolo, con un'operazione mentale, da quanto lo circonda, fu ignorata quasi completamente dagli antichi. La poetica imaginazione dei filosofi greci aveva anzi trascinata la scienza nascente in una via direttamente opposta a quella dei suoi progressi. Anzichè osservare le cose che colpiscono i sensi, essi volevano penetrare l'intima natura dei fenomeni, e facevano inutili sforzi d'imaginazione per risalire alla segreta essenza delle loro cause. L'attenzione era attirata in particolar modo dall'importanza e dalla grandezza dei fatti; quei filosofi si ostinavano nello studio di problemi destinati a rimanere forse per sempre insolubili al genere umano, si affaticavano a stabilir teorie prima d'aver riuniti i fatti sui quali esse avrebbero

(1) *Biographie de James Watt*, lue en séance publique de l'Académie des sciences le 8 décembre 1834.

(2) *Les merveilles de la science.*

dovuto basarsi, credevano poter costruire idealmente l'universo, mentre non sapevano neppur osservarlo. Codesto genere di filosofia arrestò nel loro nascere i progressi delle scienze fisiche.

Voler adunque collocare in quell'epoca l'origine della più importante invenzione dei tempi moderni, è falsare le tradizioni della storia; ed il rapido esame dei fatti, che ora esporremo, basterà a mostrare quanto sieno futili le basi che servono di fondamento a codesta opinione

Erone, filosofo della celebre scuola d'Alessandria, Erone che viveva centovent'anni prima dell'êra volgare, è onorato dal maggior numero degli storici della macchina a vapore col titolo di inventore e costruttore della prima macchina a vapore. Il filosofo alessandrino scrisse in vero un trattato intitolato *Spiritalia*, poche linee del quale gli valsero il grande onore d'essere proclamato inventore d'una macchina che vide la luce diciasette secoli dopo di lui; e sì che il libro d'Erone non pretendeva una sorte sì brillante. Quel libro contiene la descrizione d'una serie di apparecchi destinati a manifestare alcuni singolari fenomeni dell'aria e dell'acqua; gli argomenti vi sono trattati senza ordine e senza logico legame: vi cerchereste indarno una spiegazione, una teoria. — Ora esporremo i paragrafi del libro di Erone sui quali si fondano i suoi glorificatori, e così voi stessi, o lettori, potrete giudicarlo

Il quarantesimoquinto apparecchio descritto dal filosofo d'Alessandria, si compone di una pentola piena d'acqua, ben chiusa da tutte le parti ad eccezione d'un'apertura per cui penetra nella pentola un tubo verticale (come già saprete, la *verticale* è la direzione d'un corpo cadente liberamente: la direzione

del filo a piombo; un oggetto dicesi verticale quando si trova in codesta direzione) aperto superiormente. Si colloca una palla in questo tubo e si espone la pentola al fuoco: l'acqua riscaldata produce vapore; il vapore che tende ad innalzarsi nell'aria, vuol escire dalla pentola, e non avendo altra uscita che pel tubo, sale in esso scacciando la palla. La scoperta di codesto fatto non spetta neppure ad Erone, bensì a colui che, seduto accanto al fuoco, fu il primo ad osservare che il coperchio della pentola, in cui cuocevansi i cibi, si sollevava per la spinta del vapore sottostante che tendeva ad espandersi. Questa scoperta è senza dubbio anteriore ad Erone, essa ricevette una prima applicazione — che nulla ha a fare colla macchina a va-

Fig. 1. ERONE SPERIMENTA L'EOLIPILA IN PA

pore — per opera di abili impostori come ora diremo.

Le forze naturali od artificiali, dice Arago, prima di riescire veramente utili agli uomini, furono quasi sempre sfruttate da abili ingannatori a beneficio della superstizione. Il vapor acqueo non forma eccezione a questa regola generale.

Le antiche cronache ci avevano già informato che sulle rive del Weser, il dio degli antichi Teutoni manifestava talvolta il suo malcontento con una specie di tuono cui succedeva, subito dopo, una nube che riempiva tutto il sacro recinto. L'imagine del dio Busterich, rinvenuta, per quanto sembra, negli scavi, mostra chiaramente in qual guisa si operava il preteso prodigio.

...A DEI FILOSOFI DELLA SCUOLA D'ALESSANDRIA.

Quel dio era di metallo. La testa, cava internamente, conteneva un'anfora piena d'acqua. Un turacciolo di legno chiudeva la bocca, ed un altro turacciolo chiudeva un secondo foro praticato al disopra della fronte. Carboni accesi, abilmente collocati nella cavità del cranio, riscaldavano a poco a poco l'acqua contenuta nell'anfora. Il vapor acqueo sviluppatosi non tardava molto a far saltare i turaccioli, producendo in pari tempo una forte detonazione: quel vapor acqueo usciva in due getti, l'uno dalla bocca, l'altro dal foro praticato al disopra del cranio; e poi, raffreddandosi a contatto dell'aria, diventava visibile e produceva una folta nube fra il dio ed i suoi stupefatti adoratori. Sembra che alcuni monaci, nel medio evo, trovassero conveniente anche per loro codesta invenzione, e che la testa di Busterich non abbia funzionato soltanto in faccia alle assemblee dei teutoni.

Ritornando ora all'esame degli scritti del filosofo alessandrino, vi diremo che, nello stesso trattato, Erone descrive varii meccanismi che permettono, alcuni mercè l'aria compressa, altri mercè l'aria dilatata dal fuoco, di far suonare la trombetta ad un automa, far fischiare un dragone di legno o far ballare a tondo i burattini; tutti questi apparecchi sono variazioni dello strumento conosciuto nelle scuole col nome di *fontana d'Erone*, apparecchio che ha tanto legame con la macchina a vapore quanto Pilato col Credo. Havvi poi un paragrafo in cui descrive un apparecchio che è la pietra angolare dei partigiani d'Erone; lo riferiamo traendolo dalla versione latina dell'opera originale, che fu scritta in greco come tutte quelle della scuola d'Alessandria.

« *Far girare una sfera sul proprio asse mercè una pentola bollente.* Sia AB (fig. 2) una pentola piena d'acqua ed esposta

al fuoco. La si chiude col coperchio CD che è forato per lasciar passare a gomito il tubo EFG; l'estremità G di questo tubo penetra nella piccola sfera cava H (una *sfera* è ciò che nel comune linguaggio dicesi *palla*). Proprio di fronte al luogo in cui il tubo penetra nella sfera vi è un perno intorno al quale la sfera può girare; codesto perno, di cui vedete la punta aguzza nella figura, è portato dal gambo ML che è saldato sul coperchio CD. Dalla sfera G partono due tubetti disposti nella direzione d'un *diametro* della sfera (il diametro è la linea che si può imaginare che tocchi due punti della sfera e passi pel *centro*, ossia punto di mezzo della sfera); ripiegati a gomito ed in direzione opposta fra loro. Riscaldata che sia la pentola, l'aria sale nel tubo EFG, passa da questo nella sfera, ed uscendo pei tubi a gomito farà girare la sfera similmente ai burattini che ballano a tondo. »

Vedete bene che l'autore stesso non presenta il suo apparecchio come una macchina, come un congegno atto a produrre una forza motrice: ei presenta un giocattolo e nulla più. Così pure tutte le altre esperienze esposte da Erone nel trattato in discorso sono scherzi di fisica; egli non dà alcuna notizia intorno alle cause dei fenomeni che descrive.

Fig. 8. EOLIPILA DI ERONE.' 1

Volendo poi rintracciare quale interpretazione teorica accordasse Erone a questa sua *eolipila*, non si potrebbe collegarla in ogni modo che alla sola azione del calore; poichè nell'enunciato del problema ei dice: « Far girare una sfera mercè una pentola bollente », e non nomina « il vapore d'acqua » per la semplice ragione che, a quei tempi, tutti ne ignoravano l'esistenza. Erone e tutti i filosofi d'allora

ravvisavano nella vaporizzazione di un liquido la sua trasformazione in aria calda, e perciò ei non parla nel suo libro che degli effetti meccanici prodotti ora dall'aria compressa, ora dall'aria dilatata dal fuoco; non parla mai di vapor acqueo.

E così pure tutti i fisici che vennero dopo Erone spiegavano il fenomeno della rotazione della piccola sfera attribuendolo all'uscita ed alla reazione dell'aria calda; la quale poi, così dicevano, proveniva dalla trasformazione dell'acqua in aria (1). In altro luogo della stessa opera d'Erone trovasi descritto un apparecchio del tutto analogo al precedente, nel quale però, una corrente d'aria calda fa le veci della corrente di vapore.

Ora che conoscete le idee inesatte che per tanto tempo regnarono intorno ai fenomeni della vaporizzazione dei liquidi, non vi sorprenderete più che siano trascorsi tanti secoli senza arrecare la più lieve no-

(1) Quest'errore della fisica antica sulla trasformazione dell'acqua in aria, in grazia del calorico, durò ancor molti secoli dopo Erone. Vitruvio, il celebre architetto romano, che viveva ai tempi d'Augusto, dice parlando dell'*eolipila* che « le eolipile son palle di bronzo vuote internamente, munite d'un piccolo foro pel quale vi si versa l'acqua; codeste palle non tramandano alcun fiato quando non siano riscaldate; ma esposte al fuoco mandano un vento impetuoso ed insegnano così importanti verità sulla natura dell'aria e dei venti. » Queste erronee idee vivevano ancora nel XVI secolo. Cardano nostro diceva: « Vitruvio ci insegna a fare dei vasi che producono vento; essi sono rotondi, chiusi da tutte le parti tranne in un luogo che è munito d'un piccolo tubo. Riempite d'acqua, si espongono al fuoco; il liquido si trasforma in aria, fugge dal tubo ed aumenta l'ardore del braciere. » Nel XVII secolo, il fisico inglese Boyle continuava ad ammettere la trasformazione dell'acqua in aria in virtù del calorico.

zione intorno agli effetti meccanici del vapore. Codesta circostanza spiega la penuria di argomenti e di fatti in cui si trovarono gli scrittori che vollero far risalire ad epoca remota l'invenzione di cui ora ci occupiamo.

Per mostrare a quali meschinità essi abbian dovuto ricorrere, ci basterà richiamare l'annedoto dello storico bizantino Agathias che vien citato in proposito:

« Eravi a Bisanzio un uomo chiamato Zenone, inscritto nella lista degli avvocati, favorevolmente conosciuto da tutti e che era ben veduto anche dall'imperatore. Zenone abitava in tal vicinanza di Antemio (1) che le loro due case sembravano formarne una sola. A lungo andare nacque non so qual litigio fra loro, fosse una finestra aperta in onta ai regolamenti, fosse un muro troppo alto che toglieva luce alle finestre del vicino, fosse un'altra di quelle tante cause che non mancano mai di presentarsi a di far nascere il malumore fra due vicini, fatto sta che la faccenda andò al tribunali.

Com'era da prevedersi, il perdente fu Antemio; il suo avversario era avvocato e lo vinceva di gran lunga in eloquenza. Antemio non si perdette d'animo e non potendo lottare a parole pensò di vendicarsi col bel tiro, che ora diremo, che venivagli enggerito dalla scienza ch'el coltivava.

Zenone possedeva un magnifico appartamento: alto, spazioso, ben ornato, ove ei riceveva i suoi amici e festeggiava quanti gli erano più cari. Il piano terreno di quest'appartamento era di Antemio, e così il solaio di questo era il pavimento di quello. Antemio adunque dispose nel pianterreno grandi caldaie piene d'acqua, ch'egli circondò esternamente con tubi di cuoio bastantemente larghi alla lor base per abbracciare completamente gli orli delle caldaie, ma di diametro ognor più piccolo come una trombetta. Ei lissò i capi di questi tubi alle travi ed all'impalcato del solaio e vi li attaccò con molta cura; per modo che l'aria che vi si introduceva poteva andare a colpire direttamente sull'impalcato precisamente nei luoghi in cui erano attaccati i tubi. Avendo fatti con tutta segretezza questi preparativi, Antemio accese

(1) Antemio di Tralle, abilissimo architetto ai tempi dell'imperatore Giustiniano, fu il costruttore della chiesa di Santa Sofia.

un gran fuoco sotto alle caldaie, l'acqua si riscaldò ben presto e se ne sollevò molto vapore denso che non avendo alcuna uscita si alzò nei tubi slanciandovisi per entro con violenza tanto maggiore quanto più lo spazio, in cui trovavasi racchiuso, era ristretto, ed andando a battere continuamente sull'impalcato, lo scosse completamente e fece tremare le travi. Allora Zenone e i suoi amici furono conturbati e sbigottiti, si slanciarono sulla via gettando alte grida, e Zenone recatosi al palazzo dell'imperatore interrogava i suoi conoscenti sui danni che eventualmente avessero sofferti dal terremoto. »

Quest'esperienza, riferita com'è da Agathias, non poteva in alcun modo produrre i risultati descritti, i quali non si possono spiegare altrimenti che con la fervida fantasia dello storico bizantino.

Non altrimenti devesi accogliere l'asserzione emessa da Roberto Stuart, nella sua storia descrittiva della macchina a vapore in questi brevi termini: « Un certo Matesio scrisse nel 1562, in un volume di sermoni intitolato *Sarepta*, della possibilità di costruire un apparecchio, la cui azione e le cui proprietà rassomigliano a quelle della moderna macchina a vapore ».

Credesi che Matesio fosse un maestro di scuola a Joachimsthal, città della Boemia, celebre un tempo per miniere d'argento, rame e stagno. La sua opera stampata a Norimberga nel 1562 è soltanto un libro di preghiere; ecco il passo a cui allude lo scrittore inglese:

« Mercè l'acqua, il vento ed il fuoco, mercè bei meccanismi, l'acqua od il minerale si alzano e son messi in movimento fin dalle più grandi profondità, così la spesa diminuisce ed i tesori nascosti vengono estratti e messi alla luce del giorno... Oh, voi Minatori! glorificate nei canti delle miniere il bravuomo che fa salire oggi il minerale e l'acqua sulla Platen per mezzo del vento, e cantate come ora si innalza l'acqua col fuoco. »

In verità ci vuole una gran buona volontà per trovare, nel testo di quest'esortazione evangelica, l'indicazione d'un « apparecchio la cui azione e le cui proprietà rassomigliano a quelle della moderna macchina a vapore ». Poteva bensì funzionare nelle miniere qualche macchina mossa dal vento o dall'aria riscaldata; ma dalla pietosa invocazione di Matesio non traspare la più lieve allusione ad una macchina che agisca mercè l'acqua ridotta in vapore.

Roberto Stuart soggiunge:

« Trentacinque anni dopo, in un libro stampato a Lipsia nel 1597 troviamo la descrizione di ciò che dicesi un'eolipila, che si pretende possa servire a far andare un girarrosto ».

L'eolipila, apparecchio, che come abbiam detto, era conosciuto in tempi antichissimi, attirò vivamente l'attenzione dei fisici del medio evo, i quali tuttavia ignoravano la causa dei singolari effetti ch'essa produce ed imaginavano che l'acqua vi si trasformasse in aria. Non è dunque impossibile che l'insignificante e povera applicazione di cui parla Roberto Stuart abbia potuto essere realizzata, sebbene el non ci dia nessuna indicazione positiva intorno all'opera ch'ei menziona.

Altre opere del fine del XVI secolo vengono citate erroneamente come contenenti i germi delle gran macchina, ma noi risparmieremo ai lettori la noia di seguitare codest'esame che è poco meno che inutile, quando si ponga mente el fatto che nel secolo XVI tutte le cognizioni che formeno la fisica moderna erano involte nelle tenebre più profonde. Solo la creazione della fisica moderna poteva arricchire l'umanità di quei fatti precisi che dovevano servir di base alle scoperta degli effetti meccanici del vapor d'acqua ed a suggerirne l'impiego qual forza motrice.

III.

Venerazione universale per le dottrine aristoteliche. — La teoria del moto della Terra ed il libero esame. — Influenza dell'arte tipografica e della riforma. — Bacone, Galileo e Cartesio. — Assurde argomentazioni degli aristotelici. — L'astronomo Scheiner e le ammonizioni del padre superiore. Gare di tre nazioni.

La *fisica*, ossia la scienza che prende in esame i fenomeni naturali, non data veramente che dal fine del XVI secolo. Prima d'allora essa esisteva soltanto di nome. In luogo di osservare attentamente i fenomeni naturali, in luogo di studiarli profondamente, le generazioni umane si erano succedute ripetendo sempre e tramandandosi dall'una all'altra le assurde dottrine stabilite da Aristotile. Gli scarsi cultori delle scienze naturali non osavano dubitare delle dottrine aristoteliche: conveniva prestare cieca fede alle parole del « Maestro di color che sanno »; conveniva inchinarsi reverentemente in faccia alle dottrine dello Stagirita.

Tutti l'ammiran, tutti onor gli fanno.

Unico mezzo di indagini era il sillogismo; punti di partenza e di mira, erano le pretese cause assolute; le testimonianze dei sensi venivano ripudiate. Alcuni uomini di genio comparsi ad intervalli tentarono tottare contro il dispotismo della tradizionale autorità, cercarono di far brillare agli occhi del mondo i sani principii della filosofia naturale: Rogero Bacone, Giordano Bruno, Girolamo Cardano e parecchi altri riformatori coraggiosi, espiarono con persecuzioni d'ogni genere e perfin con la morte, il delitto di aver pensato.

Ai potenti della terra importava in fondo ben poco che gli studiosi fossero seguaci di Aristotile anzichè di Platone o di Epicuro, ma il cieco culto alle idee d'Aristotile implicava la più assoluta sommissione al principio d'autorità.

La teoria del moto della Terra non avrebbe per nulla sgomentati gl'ignoranti feudatarii, i principi e i duchi che mantenevansi — nel maggior numero dei casi — completamente estranei alle più vitali questioni scientifiche, ma quella teoria implicava libera discussione, libero esame, tendenza a scuotere un giogo.

In una parola, l'uomo avrebbe dovuto piegare perpetuamente il capo ad ogni e qualsiasi autorità, e forse in oggi saremmo ancora immersi nell'ignoranza e nel dispotismo dei secoli andati, se la mirabile invenzione dell'arte tipografica non fosse giunta in tempo per generalizzare lo studio, per diffondere le idee, per proclamare le verità. Le torture ed i roghi dell'inquisizione, anzichè arrestare lo sviluppo ed il progresso delle idee, contribuirono potentemente ad affrettare il trionfo della ragione.

La riforma religiosa compiuta da Lutero stabilì la libertà di coscienza; alcune nazioni d'Europa incominciarono a scorgere i primi bagliori dell'emancipazione politica, le menti rimaste achiave per secoli e secoli incominciarono a dubitare, e si risvegliarono, — in tutto ciò le scienze non avevano che da guadagnare, ed infatti esse non tardarono a trasformarsi: ciò completò la salutare rivoluzione che doveva mettere l'umanità in possesso dei propri diritti. Gli antesignani del rivolgimento scientifico, coloro che gettarono le basi del nuovo edificio delle umane cognizioni furono Bacone in Inghilterra, Cartesio in Francia e Galileo in Italia. Sebbene di paese,

di mente e di carattere ben diversi l'un dall'altro, pure tutti e tre attaccarono, a seconda della forma particolare e della varia attitudine del loro genio, l'antico edificio delle dottrine scolastiche che tenevano soggiogato lo spirito umano; mercè i loro sforzi arditi e salutari riescirono ad abbatterlo per sempre ed innalzarono sulle rovine una nuova filosofia. Unendo il precetto all'esempio, insegnarono al mondo il vero metodo da seguirsi nelle ricerche scientifiche, segnarono con le loro scoperte i primi passi della scienza nascente.

La rivoluzione scientifica compiuta dai precetti di Bacone, dalle scoperte e dagli scritti di Galileo e da quelli di Cartesio abbraccia un periodo ben distinto, che, incominciato sul cadere del XVI secolo coi primi lavori di Galileo, termina verso la metà del secolo seguente con la morte di questo luminare (1642). Soltanto da allora può dirsi stabilito il trionfo della nuova filosofia, e la scienza sorretta ormai da basi incrollabili potè innoltrarsi senza inciampi nella via della verità. Ma in quel mezzo secolo d'intervallo, la scienza dovette lottare a grande stento cou gli avanzi dello spirito filosofico del passato, non rimanendo sempre vittoriosa. Per lungo tempo ancora l'ombra dei vecchi errori vela i concetti dei filosofi. Una oscura metafisica imbarazza le teorie della scienza; le idee religiose-morali continuano a frammischiarsi alle spiegazioni fisiche. Si ragiona del pieno e del vuoto, delle qualità essenziali e delle qualità accidentali dei corpi. Si fanno dissertazioni sul secco e sull'umido, sul numero e sulle proprietà degli elementi; si è ostinati a discutere sterilmente l'intima essenza dei fenomeni. Si formulano in gran numero le ipotesi sulla natura del fuoco, sulla mescolanza degli elementi; si attri-

bniscono qualità morali alla natura. Insomma, si divaga nelle vane sottigliezze delle teorie insegnate dalla scolastica. È raro il caso che si invochi l'esperienza; e quando pur taluno vi ricorre, si tratta d'argomenti discretamente puerili. Si intraprendono ricerche meccaniche per spiegare i snoni dell'antica statua egiziana di Memnone, il giuoco misterioso dell'organo di papa Silvestro, od il volo della colomba fabbricata da Archita; si scrivono intieri volumi per scoprire le cause della dissoluzione del vitello d'oro, o per rintracciare quante migliaia d'angeli potrebbero stare, senza premersi troppo l'un l'altro, sulla punta d'un ago.

E gli è nel bel mezzo di codesto infausto periodo della storia della scienza, mentre la fisica non esisteva per anco, che si vuol collocare l'invenzione della macchina a vapore da qnasi tutti gli scrittori che trattarono l'argomento I Tre nazioni si disputano in Europa l'onore d'avar dato all'umanità l'inventore di questa macchina meravigliosa. I Francesi glorificano Salomone di Caus, gl'Inglesi esaltano il marchese di Worcester, e da noi si citano i nomi del fisico Porta e dell'architetto Branca.

IV.

Salomone di Caus. — Suo apparecchio per innalzar l'acqua contenuta in una palla cava. — Precedenza di G. B. Porta — Un disegno di Gavarni e l'apocrifa lettera di Marion Delorme. — La leggenda di Salomone di Caus morente all'ospizio dei pazzi — L'eolipila di Giovanni Branca. — Applicazioni dell'eolipila suggerite dal vescovo Wilkins. — Incomprensibile invenzione del marchese Worcester. — *L'Archituono* di Leonardo da Vinci.

Salomone di Caus, nato nel 1576, era un oscuro ingegnere normanno; in cansa d'nno strano accidente, che accenneremo più sotto, egli è onorato da molti

3*

non solo come l'inventore della macchina a vapore, ma come' un martire della scienza, come una di

Fig. 3. GIAMBATTISTA PORTA

quelle anime elette che pagarono con la lor vita il diritto d'aver pensato liberamente, d'aver voluto migliorare con una grande invenzione le sorti dell'u-

manità. Ma in tutto questo non c'è fondamento di verità. Il merito scientifico di Caus consiste unicamente in un trattato da lui pubblicato nel 1615, col titolo: *Le ragioni delle forze moventi con diverse macchine tanto utili quanto piacevoli alle quali sono aggiunti parecchi disegni di grotte e fontane.*

Nel primo libro di codesto trattato c'è un capitolo composto di parecchi teoremi, in cui l'autore, esaminando i varii mezzi con cui si può alzare l'acqua, discorre: 1° del sifone in cui l'acqua sale bensì nel ramo più lungo, ma per discendere poi nel ramo più corto ed escire ad un livello più basso in confronto di quello per cui è entrata nell'altro ramo; 2° della capilarità dei tessuti di lana o di lino; 3° della compressione dell'aria, come nella fontana di Erone; 4° della vite d'Archimede; e per ultimo, del fuoco, nel modo seguente:

Fig. 4. Apparecchio di Salomone di Caus

Presa una palla di rame (fig. 4) vuota internamente ma ben robusta, che indicheremo con A, pratichiamo in essa un foro C, ed applichiamovi un tubetto munito di robinetto o chiave: pratichiamo poi un altro foro in B, ed applichiamovi un tubo più lungo che vada fin quasi al fondo della palla come indicano le due linee punteggiate; indi chiudiamo ben bene con saldatura, lo spazio che rimanessa aperto in giro ai tubi. Aperta la chiave C vi introduciamo dell'acqua per mezzo d'un imbuto e così riempiamo circa per metà la cavità interna di quella palla; chiusa poi accuratamente la

chiave C, ed aperta la chiave B, esponiemo la palla al fuoco, — allora, dice l'autore, *il calore che colpisce la palla farà salir l'acqua su pel tubo* B (1).

Quest'apparecchio non può dunque servire ad altro che a far uscire dalla palla tutta l'acqua introdottavi prima: l' attribuire un valore industriale a quest' apparecchio sarebbe un assurdo, poichè l' autore non accenna neppure lontanamente ad una applicazione pratica, non indica se ed in qual modo egli avesse l' intenzione di far entrare nuova acqua nella palla dopo averne espulsa, mercè il calorico, quella introdottavi dapprima.

È ben vero che aggiustando sul tubo C un altro tubo che andasse a pescare in un serbatoio d'acqua fredda, la rarefazione prodottasi nella capacità superiore della palla — dopo escitone quasi tutto il liquido — genererebbe un'aspirazione che farebbe salire, dal serbatoio nella palla, quasi tant'acqua quanta ne esci prima, ed anche questa, riscaldandosi, si innalzerebbe di lì a poco tempo e così via. Si potrebbe dunque a questa guisa ottenere un apparecchio intermittente per l'innalzamento dell'acqua; apparecchio che funzionerebbe però con la gravosa condizione di sollevar l'acqua dopo averla riscaldata, il che produrrebbe naturalmente una grandissima perdita di calorico che poi si tradurrebbe in perdita inutile di combustibile. Si potrebbe però.... si potrebbero trovare tante altre

(1) Eccovi la ragione di codesto fenomeno, l'acqua contenuta nella palla, esposta al fuoco, si riscalda a poco a poco e riscaldandosi sviluppa del vapore; codesto vapore, trovandosi rinchiuso, non può seguire la sua naturale tendenza ad espandersi, e quindi preme tanto sulle pareti interne della palla quanto sull'acqua in essa contenuta; le pareti, che sono di metallo ben robusto, non cedono alla pressione del vapore, non gli lasciano agio ad espandersi, ma l'acqua, premuta dal vapore, si alza su pel tubo B, e quanto maggiore è la pressione ch'essa sopporta per effetto del vapore imprigionato, tanto più in alto essa si spinge in forma di zampillo.

belle cose e suggerire dei perfezionamenti a codesto apparecchio, ma Salomone di Caus non se ne diede pensiero per la semplice ragione ch'egli era ben lontano dal voler inventare una macchina. Egli descrive questo piccolo apparecchio come oggetto di semplice dimostrazione, come una semplice esperienza di fisica, ed infatti ei lo descrive nel capitolo consacrato ai teoremi e non in quello dedicato alle macchine che pur trova posto nel suo trattato.

Convien poi notere che quand'anche l'apparecchio testè accennato potesse essere vantato qual primo embrione di macchine a vapore, non ne spetterebbe il merito a Salomone di Caus; poichè 14 anni prima della pubblicazione del suo trattato, il filosofo napoletano Giambattista Porta (1) stampava (1601) un'opera latina: *Pneumaticorum libri tres*, in cui trovasi la descrizione di un piccolo apparato avente per iscopo di determinare in quanto di aria si risolva una parte di acqua. A questo scopo egli trae partito della pressione che esercite il vapore sull'acqua contenuta in un piccolo serbatoio. Nè lo stesso Porta vuole attribuirsi il vanto d'aver inventato il modo di sollevar l'acque col mezzo del calore: ei non presenta questo

(1) Nacque a Napoli intorno al 1550, studiò e viaggiò molto in gioventù, Di ritorno in patria vi fondò l'*Accademia dei secreti*, che fu poi chiusa di ordine del papa, col pretesto che i soci vi si occupavano d'arti illecite. Porta, mercè le sue cognizioni matematiche, potè spiegare molti fenomeni naturali ed eseguire un gran numero di interessanti esperienze fisiche, la ispecie relative all'ottica che progredì molto per suo merito Sebbene dotato di robusto ingegno, pure non andò completamente spoglio degli errori del suo secolo, credette alle chimere dell'astrologia giudiziaria, alla potenza degli spiriti e ad altre strane puerilità che, convien confessarlo, si riscontrano negli scritti più stimati di quei tempi. Morì a Napoli li 4 febbraio 1615

fatto come suo, ma dice averlo attinto fra le cognizioni volgari e lo cita quale mezzo atto a stabilire sperimentalmente la verità ch' egli ricerca. Questo fatto, si vede, era conosciuto universalmente e da gran tempo: fin nell'opera di Erone si trovano più di venti apparecchi che sovr' esso si fondano: però tutti i fisici d'allora ne ignoravano la causa.

La fortuna di Salomone di Caus non sorse adunque pei suoi scarsi meriti scientifici; se il mondo lo ha esaltato e proclamato un genio di primo ordine che seppe intravvedere, in quei tempi caliginosi, l'invenzione della macchina a vapore divulgatasi di lì a due secoli, ciò è dovuto esclusivamente ad uno strano capriccio della fortuna, che ora diremo. Il distinto pittore francese Gavarni doveva approntare un disegno d'illustrazione ad una novella destinata a comparire nel periodico parigino il *Musée des familles;* il disegno non venne in tempo; la novella, come talvolta accade nelle redazioni dei giornali, non poteva ritardare ed escì senza l'illustrazione: cosicchè quella rimase senza scopo nel magazzeno della redazione. Onde utilizzarla si pregò uno dei collaboratori e rintracciare qualche argomento letterario che potesse servire di testo esplicativo; detto fatto, il signor Berthond con la fervida sua fantasia imaginò una lettera ch' ei suppose scritta il 3 febbraio 1641 da una celebre cortigiana, Marion Delorme, ed indirizzata al di lei amante Cinq Mars. Essa racconta, in quella lettera, d'aver fatta una visita all' ospitale dei pazzi a Bicêtre in compagnia del marchese di Worcester; che attraversando il cortile, si accorsero d'un pazzo furioso che si agitava dietro alle sbarre della sua cella e gridando continuamente voleva far sapere a tutti che egli era tutt'altro che pezzo, che l'avevano colà rinchiuso perchè aveva fatta

nn'importantissima scoperta, quella di far andare le vetture e varii meccanismi con la sola forza dell'acqua bollente; il marchese, così terminava la lettera, mostrò molto interesse per l'infelice che vedeva sì mal ricompensati i parti del proprio genio. E così il bel disegno di Gavarni potè essere pubblicato nel novembre 1834 unitamente alla lettera apocrifa, a grande edificazione dei romanzieri, drammaturghi e pittori pei quali l'uomo di genio morente all'ospizio dei pazzi, l'inventore, il benefattore dell'umanità imprigionato per ordine del re, era un soggetto troppo bello per lasciarselo sfuggire.

La storia dei martiri della scienza avrebbe dedicata una pagina scritta a caratteri indelebili, a Salomone di Caus, se l'autore della lettera apocrifa non avesse spontaneamente raccontata la verità a grande stupore di tutti.

Dopo d'allora si consultarono i vecchi registri municipali di Parigi, dai quali risultò nel modo più manifesto che Salomone di Caus ben lungi dall'essere perseguitato godette favori dal governo, e quando morì in quella città nel 1626 esercitava le funzioni di ingegnere del re.

Messe le cose nella lor vera luce speriamo che non vi sarà più da ritornare su quest'argomento e che l'assurda leggenda non occuperà più il posto d'un fatto storico.

I fisici non possedevano dugent'anni fa che imperfette e confuse notizie sulla vaporizzazione dei liquidi, — notizie viziate per giunta da inesattissime interpretazioni teoriche che consistevano nell'attribuire all'aria riscaldata la maggior parte dei fenomeni derivanti dall'espansione del vapore acqueo. I tenui effetti meccanici rivelati dalla volgare osservazione, relativi

alle forza elastica del vapore, avevano in mira esclusivamente delle applicazioni insignificanti o ridicole.

Un padre Leurechon, gesuita lorenese, pubblicò nel 1626 sotto il titolo di *ricreazioni matematiche*, un'opera che porge un'imagine fedele dello stato delle cognizioni o meglio dell'ignoranza in fatto di fisica e meccanica nel XVII secolo. Il piccolo apparecchio già indicato col nome di *eolipila*, attraeva costantemente l'attenzione dei fisici del tempo. Quel padre gesuita lo descrive e poi soggiunge: « taluni fanno mettere sulla bocca dell'eolipila un tubo più volte ripiegato onde imitare, mercè il vapore che ne esce, il rumore del tuono; altri applicano un leggero mulinello in faccia al foro da cui esce il vapore che così lo mette in movimento ».... Codeste applicazioni puerili mostrano bastantemente quale e quanta parte avessero allora nella scienza le nozioni relative all'impiego del vapor acqueo.

Giovanni Branca (1), architetto della chiesa di Loreto, che lasciò alcune opere d'architettura e di meccanica, pubblicò in Roma nel 1629 una raccolta intitolata le *Macchine*, dove descrive le macchine principali in uso ai suoi tempi. Branca dichiara non essere l'inventore delle macchine ch'ei descrive; egli ha fatta codesta pubblicazione per invito de'suoi amici e non può dare i nomi degli autori dei diversi apparecchi disegnati nella sua raccolta, perchè non li conosce. L'unita figura che ricaviamo dall'opera in discorso è invocata a favore di Branca, e gli frutiò l'onore d'essere da taluno proclamato inventore della macchina a vapore. L'apparecchio di Branca (fig. 5) è un'eolipila così composta:

(1) Nato a S. Angelo di Pesaro il 22 aprile 1571.

« Un busto di statua metallica, cavo internamente, vien opost sovra un focolaio; un foro superiore B, che può essere

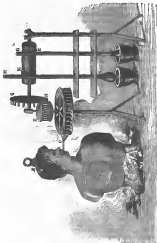



Fig. 5 Eolipila di Branca.

chiuso ermeticamente mediante una vite, serve ad introdurre dell'acqua nel busto. In grazia del fuoco acceso sotto al bu-

ato metallico, l'acqua in esso contenuta sviluppa vapore che trova aperta un'uscita soltanto; al foro praticato nella bocca del busto è applicato un tubo C; questo tubo dirige il vapore, che mano mano si sviluppa dall'acqua bollente, contro i truogoli d'una ruota orizzontale D. Questa, mercè un rocchetto E ed una ruota dentata H G, mette in movimento due pestelli M N, O P per mezzo dei due denti o bocciuoli K ed E. « Codesti pestelli, dice Branca, schiacceranno la polvere da cannone od altra materia a piacimento. »

Convien credere che se mai quest'apparecchio fu adoperato, lo fu per altre materie e non per la polvere, che sarebbe stata troppo esposta a pericoli trovandosi in tanta vicinanza del fuoco. — Comunque sia, l'eolipila di Branca non presenta la menoma analogia con le moderne macchine a vapore che si fondano sulla forza elastica del vapore acqueo contenuto in uno spazio chiuso, mentre qui si tratta soltanto del semplice effetto di impulsione prodotto da una corrente di vapore. Una corrente d'aria spinta da un mantice verso i truogoli della ruota, produrrebbe lo stesso effetto. Tanto è vero che lo stesso Branca descrive in altra parte della sua raccolta, una macchina analoga alla precedente, nella quale però l'aria calda è sostituita al vapore. Una ruota a truogoli è posta in sommità del fumaiuolo d'un camino; mentre questo funziona, una corrente d'aria calda, vi ascende ed incontrandosi con la ruota suddetta la fa girare; alcuni ingranaggi comunicano il moto di questa ruota a qualche congegno destinato ad utilizzare il movimento (1).

(1) Cardano, celebre filosofo e matematico, nato in Milano, nel 1501, aveva già descritta una macchina quasi analoga, chiamandola *macchina a fumo*. Era formata di lastre di ferro, tagliate e disposte similmente a quelle dei molini a vento, intorno ad un asse girevole; codesta ruota veniva collocata orizzontalmente nel fumaiuolo. Generalmente si attribuiva al fumo la causa del movimento di questa macchina; ma Cardano osservò che sarebbe meglio attribuirne la causa alla fiamma

Ed anco quest'insignificante applicazione dell'eolipila venne rivendicata da Roberto Stuart, nella sua *Storia descrittiva della macchina a vapore*, a favore d'un suo compatriota: Giovanni Wilkins, vescovo di Chester, cognato di Cromwell. Questo prelato, resosi abile nelle scienze fisiche e matematiche, pubblicò un'opera intitolata: *Mathematical Magic*, nella quale fa così menzione dell'eolipila:

« Si possono impiegare in varii modi le eolipile, tanto come trastullo, quanto per gonfiare e spingere delle vele applicate ad una ruota posta nell'angolo di un caminetto, e questa ruota potrebbe mettere in movimento un girarrosto. »

Da codesta applicazione tanto insignificante dell'eolipila, si può cavare la conclusione che a quei tempi si era ben lontani dall'intravedere che un giorno il vapore acqueo avrebbe servito a ben altra cosa; a quei giorni lo si adoperava come un trastullo, mentre in oggi esso può dirsi il punto di partenza d'una benefica e colossale riforma della società.

Per finirla coi supposti inventori della macchina a vapore dobbiam parlarvi per ultimo del marchese di Worcester. Interrogate un cittadino qualunque della Gran Bretagna, sia nell'officina, sia nella capanna, sia in società, e tutti vi diranno ad una voce che la macchina a fuoco fu inventata dal marchese di Worcester che viveva ai tempi di Cromwell. Non un autore inglese tratta di quest'argomento senza porgere parole di omaggio al nobile inventore. Questi pubblicò a Londra nel 1663 un'opera intitolata *Centuria di invenzioni*, nella quale con stile oscurissimo dava una breve spiegazione e talvolta semplicemente l'enunciato di cento macchine, invenzioni o scoperte ch'egli si attribuiva.

Alla sessant'ottesima invenzione ei dice:

« Ho inventato un mezzo altrettanto mirabile quanto potente per sollevare l'acqua mediante il fuoco, mezzo che può dirsi senza limiti, purchè il vaso sia bastevolmente forte. Preso un pezzo di cannone, lo riempii per tre quarti d'acqua, e chiusa ermeticamente con viti il focone e la bocca, mantenni costantemente acceso un vivo fuoco tutto intorno al cannone; in capo a ventiquattr'ore il cannone scoppiò con gran fracasso.

« Avendo allora trovato il modo di costruire vasi in guisa che sono consolidati dalla forza interna (?) e che si riempiono l'un dopo l'altro, vidi l'acqua zampillare, come da una fontana, con un getto continuo alto quaranta piedi. Un vaso d'acqua rarefatta dall'azione del fuoco ne fa salire quaranta d'acqua fredda. L'uomo incaricato della sorveglianza della macchina non ha altro a fare senonchè girare due robinetti in modo che, quando uno dei due vasi è esausto, esso si riempie d'acqua fredda, mentre l'altro incomincia ad agire, e così di seguito, purchè il fuoco sia costantemente acceso, il che può esser fatto con tutto comodo dalla stessa persona che ha l'incarico di aprire e chiudere i robinetti. »

Il lettore vorrà spiegazione di queste confuse parole e si lusingherà trovarne il commento nel seguito dell'opera del marchese, ma questi credendo aver già detto abbastanza, null'altro scrisse in sua vita intorno alle applicazioni del vapore. — Leggendo il brano da noi riferito, si può cavare questa sola conclusione: l'autore riconobbe sperimentalmente che un cannone pieno d'acqua e chiuso ermeticamente può scoppiare sotto l'azione prolungata del calore. Fenomeno ben noto ancor prima (1). — La descrizione poi della mac-

(1) Il signor Delécluze pubblicò nel 1841 nel giornale l'*Artiste* un abbozzo ritrovato fra le carte di Leonardo da Vinci, ove è rappresentato uno strumento cui quest'illustre italiano dà il nome di *archituono*. Codesto strumento fondavasi sulla potenza esplosiva del vapore d'acqua imprigionato, il quale agiva producendo l'esplosione dello strumento in mille pezzi.

china, quale l'abbiam testualmente riferita, è affatto incomprensibile, e non potè essere favorevolmente interpretata senonchè da coloro che, animati da passione patriottica, volevano a tutti i conti trarne delle conclusioni altamente onorifiche pel marchese.

È singolare poi il modo con cui si venne ad attribuire l'invenzione della macchina a fuoco al confuso autore della *centuria d'invenzioni.*

Quando sul principio del XVIII secolo si costrussero in Europa le prime macchine a vapore, sorsero animate discussioni fra i meccanici che reclamavano ciascuno per proprio conto, la priorità dell'invenzione. Il capitano Savery, che come vedremo in appresso, costrusse la prima macchina a vapore impiegata nell'industria, voleva attribuirsi tutto il merito dell'invenzione. Dionigi Papin, informato di queste pretese, scrisse immediatamente onde stabilire i suoi diritti di priorità; a quei tempi ei viveva in Germania, poiche l'ingresso in Francia gli era interdetto, non volendo egli abiurare alla religione riformata.

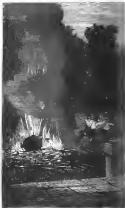
Un dotto e pio abate che viveva allora in Orléans, per nome Giovanni Hautefeuille, grande amatore della meccanica e che avremo occasione di menzionare in appresso, non poteva sopportare tranquillamente il pensiero di vedere impartito ad un eretico l'alto onore derivante da sì grande invenzione, e si diede quindi a contestare i diritti di Papin. Gl'inglesi s'immischiarono nella polemica e dissotterrarono l'opera ignota o disprezzata dal marchese di Worcester. Codesto intervento che sembrava mettere d'accordo le parti, pose fine alla disputa, e la vittoria rimase a favore del genio britannico.

E quel povero abate di Hautefeuille che credeva togliere un vanto ad un eretico, contribuì al trionfo

del marchese di Worcester che essendo inglese non era meno eretico di Papin; e così senza recare alcun guadagno alla sua religione, l'abate spossessò la sua patria della gloria che le spettava.

Però nella stessa Inghilterra, vi ebbe ultimamente uno storico, lo Stuart, già menzionato, che provò la nullità delle pretese del marchese di Worcester. Egli ha pure posto in dubbio che sia mai stata fatta da costui l'esperienza del cannone esploso, e narrò la sua vita di uomo politico senza cervello e di meccanico chimerico. Ma ci vuol molto tempo prima che la storia severa distrugga le vaghe leggende; e noi sentiremo ancora gl'Inglesi giurare sul marchese di Worcester.

Fig. 6. IL MARCHESE DI WORCESTER FA SCOPPI

V.

Risorgimento della fisica — Il barometro inventato da Torricelli, la macchina pneumatica inventata da Ottone di Guericke. — Pressione atmosferica — Esperienza degli emisferi cavi di Magdeburgo. — Mancanza d'un motore universale — Lieti pronostici ricavati dalle esperienze di Ottone di Guericke.

NONE GRAZIE ALLA FORZA DEL VAPOR ACQUEO

La fisica moderna data, come abbiam detto, dalla morte di Galileo. Parrebbe quasi che le scienze aspettassero la morte di questo grande filosofo per assumere lo sviluppo ch'esse risentirono dal genio di lui L'invenzione del barometro, dovuta a Torricelli, segnò il primo passo della fisica nascente.

A quest'invenzione tenne dietro l'altra non meno importante della *macchina pneumatica* costrutta da Ottone di Guericke, borgomastro di Magdeburgo.

Mercè questa macchina, che permette di vuotar d'a-

ria un recipiente, Ottone di Guericke dimostrò ai più increduli il peso dell'aria atmosferica e l'enorme pressione che essa esercita sopra tutti i corpi che essa circonda. Egli istituì una celebre *esperienza*, che fin d'allora fu detta degli *emisferi di Magdeburgo;* quest'esperienza chiamò ben presto l'attenzione degli studiosi sui potenti effetti della pressione atmosferica, invogliandoli ad utilizzarla nella meccanica.

Crediamo opportuno richiamare alla mente del lettore, tanto il valore della pressione atmosferica quanto la citata esperienza degli emisferi di Magdeburgo.

L'aria, nella quale ci muoviamo senza incontrare ostacolo (poichè essa ci preme in tutti i sensi), esercita tuttavia un'enorme pressione sulla superficie dei corpi, coi quali essa è a contatto. Questa pressione diminuisce tanto più quanto più in alto si sale nell'aria, montando ad esempio sui fianchi d'una montagna ovvero ascendendo in un aerostato. Nei paesi posti a livello del mare, l'aria atmosferica esercita l'enorme pressione di *un chilogramma e trentatrè grammi* sopra ogni centimetro quadrato di superficie esposta all'aria; la pressione esercitata dall'aria atmosferica sulla superficie d'un metro quadrato (pari a diecimila centimetri quadrati) risulta quindi di *diecimila trecento trenta chilogrammi.*

Per dimostrare, sperimentalmente, quest'enorme pressione, Ottone di Guericke prese due emisferi — o mezze sfere — cavi, di rame, coi labbri spalmati di sego, uno dei due emisferi era munito d'un robinetto ed entrambi portavano un anello che permetteva di accostare o di allontanare i due emisferi. Accostati i due emisferi e posti a perfetto contatto l'un dell'altro, si apriva la chiave del robinetto ed al tubo di quest'ultimo si applicava la macchina pneumatica, col cui

mezzo, si estraeva successivamente tutta l'aria contenuta nella capacità di due emisferi. Trovandosi questi a perfetto contatto e per di più essendo spalmati di sego nei punti di combaciamento, riesciva impossibile all'aria esterna di penetrare in quella capacità che per conseguenza rimaneva vuota. Chiuso il robinetto, smontata la macchina pneumatica e tirati in senso opposto i due anelli, non si riesciva a staccare i due emisferi, senonchè esercitando uno sforzo grandissimo — che doveva essere tanto maggiore quanto più grande era la superficie degli emisferi esposta alla pressione dell'aria; poichè, come avrete compreso, la pressione dell'aria che prima esercitavasi tanto sulla faccia esterna quanto sulla faccia interna dei due emisferi, si esercitava poi soltanto sulla faccia esterna degli stessi, poichè tutta l'aria contenuta nella cavità degli emisferi era stata estratta dalla macchina pneumatica.

Il primo apparecchio di simil genere costrutto da Ottone di Guericke aveva in diametro tre quarti di auna di Magdeburgo. Appeso l'apparecchio, mercè l'anello superiore, ad un punto fisso, (fig. 7) l'altro anello reggeva un peso di duemila seicento ottantasei libbre (1315 chilogrammi) senza che ciò producesse il distacco dei due emisferi, e non vi si riesciva neppure attaccando, in direzione opposta, un paio di cavalli a ciascuno dei due anelli; — bastava però aprire il robinetto applicato agli emisferi perchè tosto l'aria esterna andasse ad occuparne l'interna cavità; le manine d'un fanciullo sarebbero allora bastate per staccare l'uno dall'altro i due emisferi.

Ottone di Guericke costrusse poscia due altri emisferi aventi un'auna (m. 1,19) di diametro: e fatti attaccare otto cavalli a ciascuno dei due anelli (fig. 9) mostrò al pubblico stupefatto che i sedici cavalli non

bastavano a vincere la pressione atmosferica che obbligava l'un contro l'altro i due emisferi.

Ei variò poi in mille modi questa evidente dimostrazione del peso dell'aria e dei suoi effetti meccanici.

Fig. 7. PRIMA ESPERIENZA ESEGUITA DA OTTONE DI GUERICKE CON GLI EMISFERI DI MAGDEBURGO.

Mentre trovavasi a Ratisbona, chiamatovi dal suo ufficio di consigliere dell'elettore di Brandeburgo, eseguì in presenza del principe d'Auerberg, inviato dall'imperatore, un'altra esperienza che merita d'essere ricordata.

Preso un cilindro metallico (fig. 8) vi praticò un foro

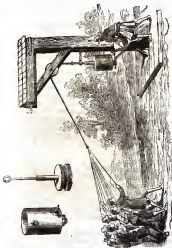



Fig. 8 Esperienza istituita da Ottone di Guericke nel 1654

ed applicò a questo un tubetto, mercè il quale potevasi

stabilire una comunicazione fra la capacità del cilindro e la capacità del recipiente di vetro della sua macchina pneumatica, nel qual recipiente egli aveva già praticato il vuoto. Nall'interno di questo cilindro, stabilmenta fissato ad una colonna di legno, poteva scorrere uno stantuffo, il cui gambo era munito d'un anello; una corda attaccata a quest' anello passava sopra una puleggia e andava a terminare nelle mani di venti individui che avevano per incarico di tirare quella corda. Così disposte le cose, Ottone aperse il robinetto del suo recipiente di vetro; allora tutta l'aria contenuta nel cilindro precipitossi con violenza nel recipiente che, come abbiam detto, era vuoto, e lo stantuffo, che superiormente trovavasi premuto dall'atmosfera, mentre inferiormente (cioè la sua faccia che guardava l'interno del cilindro) non subiva pressione alcuna, discese violentemente spinto dalla pressione atmosferica, e fu tanta la violenza del colpo che i venti individui che rattenevano la corda si trovarono per un istante sollevati nell'aria. La figura 8, rappresentante questa bella esperienza, è tratta dall'opera latina *Experimenta nova Magdeburgica de vacuo spatio*, pubblicata nel 1672 da Ottone di Guericke.

In detta figura vedesi in particolare sulla sinistra il cilindro metallico che si vuota d'aria quando si apre il robinetto che lo mette in comunicazione col recipiente vuoto, e più verso destra vedesi separatamente lo stantuffo che abbassandosi nel cilindro, per effetto della pressione atmosferica, trascina seco la corda.

Non senza ragione i scienziati d'Europa seguivano con vivo interesse le esperienze che si eseguivano in Germania, per dimostrare i sorprendenti effetti della pressione atmosferica, e non senza ragione abbiamo narrati codesti particolari. La trasfor-

mazione sociale incominciata già da un secolo aveva dato nuovo impulso a tutte le industrie. Però mancava ancora l'anima al gran corpo che stavasi organizzando; l'industria non possedeva un motore, o si avevano soltanto dei motori insufficienti. La forza degli uomini e dei cavalli, la potenza del vento, l'azione dei torrenti e dei fiumi, insufficiente in molti casi rispetto all' intensità della forza motrice, mancava completamente in molte località, o non poteva essere impiegata comodamente ed economicamente pei bisogni dell'industria. Or quando, in queste condizioni, l'attonita Europa apprese dalle scoperte di Torricelli e di Pascal che *ogni decimetro quadrato* (impieghiamo le misure moderne per renderci più chiari) *di superficie* di tutti i corpi esistenti sulla terra, *sopporta, in causa della pressione atmosferica, un peso equivalente a più di cento chilogrammi*, e quando vide Ottone di Guericke ritrovare un mezzo pratico per annullare in un dato istante la resistenza che si oppone alla manifestazione di questa forza, sorse naturalmente la speranza di veder comparire una prossima applicazione di questo fatto notevole. Tutti i fisici d'allora erano colpiti dalla grandezza e dall'avvenire di quest'idea, tutti presagivano che le esperienze del borgomastro di Magdeburgo contenevano i germi d'una rivoluzione capitale nei mezzi industriali.

Quando col progresso dei tempi le scienze hanno raccolto un certo numero di fatti teorici, atti ad essere utilmente applicati ai bisogni degli uomini, è ben raro che non sorga al momento opportuno qualche ingegno potente che sappia trarre da quelle nozioni generali le conseguenze ch'esse racchiudono. L'uomo di genio, a cui era riserbato di fecondare le belle scoperte che siamo andati narrando, chiamavasi Dionigi Papin.

VI.

Dionigi Papin. — Esperienze da esso eseguite a Parigi con Huygens, a Londra con Boyle. — Il *digestore* di Papin e la gelatina — La valvola di sicurezza. — Peregrinazioni di Papin.

Fig. 9. CELEBRE ESPERIENZA [...] PER DIMOSTRARE L'EN[...]

Dionigi Papin nacque a Blois in Francia il 22 agosto 1647, da famiglia molto stimata, che apparteneva alla religione protestante. Era figlio d'un medico, ed aveva per parente Nicola Papin, altro medico conosciuto per alcuni lavori scientifici. Non si sa nulla sulla sua infanzia, nè sugli avvenimenti della sua gioventù; sembra che abbia sentito di buon'ora un gusto vivissimo per le scienze matematiche. L'educazione pubblica era allora, nella città di Blois, fra le mani dei gesuiti, che accordavano a quell'epoca una parte abbastanza grande allo studio delle scienze. Anche i protestanti fre-

quentavano, a quei tempi, le scuole dei gesuiti; Papin ricevette da essi le prime lezioni di matematica.

Fece i primi studii di medicina a Parigi, dove lo troviamo a ventiquattro anni, stabilitovi per esercitarvi la sua professione. Ma non tardò a volgere esclusivamente la sua mente ai lavori della fisica sperimentale e della meccanica applicata, grazie ad alcuni protettori potenti che favorivano il di lui gusto per questo genere di studii.

EL 1650 DA OTTONE I I GUERICKE PRESSIONE ATMOSFERICA.

Il celebre olandese Huygens, abitava allora la capitale francese, egli aveva acconsentito a stabilirsi in Francia per istanza di Colbert, il quale, fondando l'Accademia delle scienze, lo aveva inscritto uno dei primi sulla lista dei suoi membri, assegnandogli una forte pensione, con alloggio nella Biblioteca reale.

Papin prestava il suo aiuto a Huygens per le sue esperienze di mec-

canica, e divideva il suo alloggio. Ei doveva questa posizione vantaggiosa alla protezione della signora Colbert, donna di gran merito, originaria di Blois, ed a cui, secondo Bernier, « una infinità di persone di quel paese doveva la loro fortuna. »

Dionigi Papin pubblicò la sua prima opera a Parigi nel 1674, sotto questo titolo: *Nuove esperienze intorno al vuoto, colla descrizione delle macchine che servono a produrlo.* Questo scritterello che non esiste più a' giorni nostri, conteneva la descrizione di certe modificazioni di leggera importanza fatte alla macchina del borgomastro di Magdeburgo. Esso fu accolto con favore, fu presentato all'Accademia delle Scienze, ed il *Giornale degli scienziati* lo rimeritò di grandi elogi.

La carriera s'apriva dunque pel giovane fisico sotto i più felici auspici. Tuttavia un anno dopo e' lasciava d'improvviso la Francia per recarsi in Inghilterra.

Quale motivo poteva indurlo ad abbandonare la sua patria? Era forse caduto in disgrazia di Colbert? Oppure obbediva egli semplicemente a quell'umore vagabondo che lo fece chiamare da uno de' suoi contemporanei, *il filosofo cosmopolita?* È un mistero. Gli storici della fine del XVII secolo, dediti intieramente ai racconti degli intrighi delle corti o delle vicende guerriere non consacrano una riga alle menti elette che impiegarono tutta la loro laboriosa esistenza a preparare all'umanità destini migliori, e che soventi ricevevano in compenso soltanto miseria ed oblio.

Poco tempo dopo il suo arrivo in Inghilterra, Papin, ebbe la felice ispirazione di presentarsi a Roberto Boyle, l'illustre fondatore della Società reale di Londra, Boyle lo associò ai suoi lavori.

Nessuna posizione poteva meglio convenire ai gusti

ed ai desiderli di Papin. Roberto Boyle, uscito da cospicua famiglia irlandese, aveva rinunciato ai vantaggi che gli assicuravano le sue ricchezze, per dedicarsi intieramente allo studio delle scienze. Aveva consacrati sei anni della sua gioventù a viaggiare sul continente, per perfezionare le sue cognizioni e fuggire lo spettacolo dei torbidi civili che straziavano la sua patria. Al suo ritorno in Inghilterra la lotta durava ancora fra il Parlamento e la corona; Boyle si ritirò nella sua terra di Stalbridge e nel seno del ritiro e della pace, lungi dal tumulto delle città e dall'agitazione dei partiti, continuava i bei lavori che dovevano porlo in grado cotanto elevato nella riconoscenza e nell'ammirazione del suo paese.

Egli riuniva intorno a sè alcuni uomini distinti, che cercavano nella coltura delle scienze e delle arti un conforto alle amarezze politiche. Questa riunione, che portava il nome di *Collegio filosofico*, raccoglievasi sotto la sua direzione ora ad Oxford, ora a Londra.

Quando nel 1660 Carlo II montò sul trono d'Inghilterra, ei fondò cogli avanzi di questa riunione nomade la *Società reale di Londra*, ed affidò a Boyle l'incarico di organizzarla. L'illustre scienziato ricusò di presiedere questa società, e respinse altro onorificenze per dedicarsi esclusivamente ai suoi lavori scientifici.

Boyle s'era occupato con buon esito in continuare le ricerche d'Ottone di Guericke intorno al vuoto ed alla pressione atmosferica; aveva pubblicate le sue esperienze sopra questo argomento, lasciando ad altri la cura di continuarle. Quando Papin arrivò in Inghilterra, e' pensava a riprenderle, ma non trovava nessuno per secondarlo. L'abilità di Papin ed i suoi studi speciali sulla macchina pneumatica, rendevano il suo

aiuto utile sotto ogni guisa: Boyle ammise dunque nel suo laboratorio il giovine fisico francese.

Cominciate l'11 luglio 1676 le esperienze che questi due fisici istituirono di concerto, furono continuate fino al 17 febbraio 1679. Fra queste esperienze giova citar quelle relative allo studio del vapore prodotto dall'acqua bollente, che in appresso doveveno portare i loro frutti fra le mani di Papin.

Boyle riconobbe con molta lealtà che i servigi di Papin gli erano utilissimi, e proclamò la grande abilità del fisico francese nella costruzione e nel maneggio degli apparati di fisica. Grazie a questi titoli, Boyle fece aprire a Papin le porte della *Società reale di Londra*.

Poco dopo, nel 1681, Papin fece conoscere per la prima volta, in un'opera scritta in inglese, sotto il titolo di *New Digester*, l'apparecchio che ricevette il nome di *digestore* o *pentola di Papin*. Quest'è una pentola di metallo, molto robusta, chiusa ermeticamente dal coperchio, allo scopo d'impedire l'uscita al vapore che si sviluppa, quando la pentola, parzialmente piena d'acqua, è esposta al fuoco. Il *digestore*, secondo Papin, permetteva di cuocere le carni in poco tempo e con poca spesa, migliorandone anco il sapore. Ei dava nello stesso tempo il mezzo di emmollire le ossa, vale a dire di trasformarle in una sostanza che ricevette ai nostri giorni il nome di *gelatina*. Per tal modo Papin insegnava a ricavare materia nutritiva anche da quelle parti degli animali che prima venivano abbandonate siccome inutili.

Questo apparecchio che fu rinnovato a'nostri giorni sotto il nome di *autoclave* non mantiene tutte le promesse dell'inventore; le carni cotte con questo mezzo acquistano sapore ammoniacale. Per cui, quan-

tunque Leibnitz abbia detto in una sua lettera: « Un mio amico mi scrive aver mangiato un pasticcio di piccioncini preparato di tal guisa dal digestore, ed

Fig. 10, DIONIGI PAPIN.

averlo trovato eccellente », è permesso contestare l'utilità gastronomica di questo sistema.

La pentola di Papin era munita di un apparecchio conosciuto a' giorni nostri sotto il nome di *valvola di sicurezza*, e che costituisce uno degli organi più importanti della macchina a vapore. Tutti s'accordano nel concedere la più alta importanza all'invenzione di questo apparecchio, ch' è riguardato come il preludio dei lavori di Papin sul vapore. A rischio di aver l'aria di sostenere un paradosso, noi oseremo, dice il Figuier, separarci anche su questo punto dall'opinione comune, e siccome ci piace appoggiare sopra testi autentici i principali fatti esposti in questa notizia storica, citeremo il brano originale del libro di Papin sul *digestore*. Si vedrà che la valvola di sicurezza ha un' origine molto più umile che non si creda.

Papin comincia col dare la descrizione del suo *digestore*. L'apparecchio si compone di due cilindri vuoti rientranti l'uno nell'altro; il cilindro più grande a pareti metalliche grossissime, racchiude l'acqua che si deve convertire in vapore; il cilindro, più piccolo, serve a contenere le carni. Il tutto è chiuso da un grosso coperchio metallico che combacia perfettamente cogli orli del cilindro più grande, su quali è fissato con viti solidissime. Quando si vuol adoperare il *digestore*, lo si colloca sopra un fornello acceso.

La nostra figura 11 rappresenta il *digestore* o *pentola di Papin*, come la si costruisce oggidì per mostrare nei corsi di fisica la considerevole pressione esercitata dal vapore. — S è la valvola di sicurezza, C il corpo del cilindro esterno.

La pentola di Papin è dunque una specie di bagnomaria, nel quale il vapore che mano mano si sviluppa dall'acqua bollente trovasi imprigionato in uno spazio chiuso, e non può quindi uscirne. Dopo aver data la descrizione della sua pentola, Papin aggiunge:

« Questa macchina è, senza dubbio, semplicissima e poco soggetta a guastarsi, ma dessa è incomoda in quanto che non si può guardarci dentro così comodamente come in una pentola ordinaria; e siccome fa più o meno effetto a seconda che l'acqua che vi si contiene si trova più o meno compressa, e siccome quest'effetto varia eziandio a seconda che il calore sviluppato dal fornello è più o meno intenso, così po-

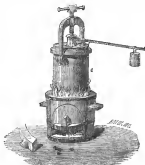



Fig. 11. LA PENTOLA DI PAPIN.

trebbe succedere qualche volta che voi ne ritiriate la vostra carne prima che sia cotta, ed altre volte che la lasciate bruciare; stimai perciò necessario rintracciare il modo di conoscere e la quantità di pressione che trovasi nella macchina ed il grado di calore.

« Basta fare un piccolo tubo aperto dai due capi, saldarlo ad un buco fatto nel coperchio, ed applicare all'apertura

superiore di questo tubo una piccola valvola, guarnita di carta, che chiuda esattamente quel buco. »

Per conoscere il grado della pressione del vapore, Papin chiudeva questa valvola con una piccola verga di ferro, che, fissata ad una delle sue estremità ad una cerniera, portava all'altra estremità un peso mobile alla guisa del romano della stadera. Papin aveva determinata la pressione di vapore necessaria a sollevare questo peso.

« Dimodochè, aggiunge egli, quando la valvola lascia sfuggire vapore, io conchiudo che la pressione nel bagno-maria è circa otto volte più forte della pressione dell'aria, dacchè può sollevare, non solo il peso che resiste a sei pressioni, ma anche la verga, che provai resistere a due; e così, aumentando o diminuendo il peso, o cambiandolo di posto, io conosco sempre, ad un dipresso, l'intensità della pressione del vapore nell'interno della pentola. »

Papin aveva dunque imaginata la leva e la valvola soltanto per *sapere ciò che accadeva nell'interno della pentola*, e per vegliare all'esatta cottura delle carni. Variando la posizione occupata dal peso mobile, sul braccio del romano, e' conosceva approssimativamente il grado di pressione cui si trovava sottoposta la carne messa nel bagno-maria. A quell'epoca, infatti, egli era lungi ancora dal pensare a fabbricare una macchina fondata sulla forza elastica del vapore; e neppur più tardi quando rivolse i suoi sforzi ad utilizzare in una macchina la forza espansiva del vapor acqueo, ei non pensò di applicare alla sua macchina la valvola di sicurezza. Nella sua celebre memoria del 1690, in cui dà la descrizione della prima macchina a vapore, ei non fa neppur menzione della valvola di sicurezza. L'idea di applicare tale congegno per prevenire l'esplosione della caldaia di una macchina a vapore, gli venne appena nel 1707, cioè diciassette anni dopo la pubblicazione di quella memoria.

Fu il fisico Desaguliers che trasportò il primo nella pratica questa idea di Papin. Nel 1717 Desaguliers applicò, in Inghilterra, ad una macchina di Savery, la valvola del *digestore* di Papin, che quest'ultimo aveva proposta nel 1707 come uno spediente per metlersi al riparo dalle esplosioni, a cui questa macchina poteva dar luogo.

La costruzione del *digestore* non esercitò dunque veruna influenza sulla invenzione della macchina a vapore; e se pur vi contribuì in qualche modo, fu solamente famigliarizzando l' inventore coll' uso pratico del vapor acqueo.

L' umore vagabondo di Papin lo fece disertare nel 1681 anche dal suolo ospitale che lo aveva ricevuto, e, come aveva abbandonata la Francia per l' Inghilterra, così abbandonò l' Inghilterra per l' Italia.

Il cavaliere Sarroti, segretario del Senato di Venezia, aveva appena fondata in questa città, per ordine del Senato, una nuova accademia, che mirava al perfezionamento delle scienze e delle lettere, « con una spesa ed una generosità straordinarissime, » dice Papin. Sarroti offrì al fisico francese una posizione in quesla società, e Papin accettò, alquanto leggermente.

Soggiornò più di due anni a Venezia, occupato quasi senza posa in esperienze di fisica. I suoi lavori gli procurarono grande riputazione in Italia. Ma nello stesso tempo che la sua fama aumentava, diminuivano ogni giorno le sue risorse, e venne un momento in cui, disperando trovare in Italia la posizione vantaggiosa su cui aveva contato, dovette pigliare il partito di abbandonare il cavaliere Sarroti e la sua accademia.

Lasciando Venezia, Papin ritornò direttamente in

Inghilterra, sperando raccogliervi gli avanzi del suo credito e della sua prosperità. Ma le sue lunghe peregrinazioni avevano raffreddato lo zelo degli amici, a mala pena gli riescì di entrare in qualità di pensionario nella Società reale. Ebbe l'incarico di eseguire le esperienze ordinate dall'accademia, e di copiarne la corrispondenza. Per tutto compenso riceveva lo stipendio di 62 franchi al mese.

Durante questo secondo soggiorno in Inghilterra, Papin concepì ed eseguì la prima macchina che doveva metterlo sulle tracce della sua scoperta delle applicazioni del vapore.

VII.

Macchina a doppia pompa pneumatica, proposta da Papin per utilizzare la forza delle acque correnti. — Macchina animata dall'esplosione della polvere da cannone. — Vuoto ottenuto dalla condensazione del vapor acqueo. — Prima macchina a vapore, ideata e costruita da Papin. — Imperfezioni che ne incagliarono l'applicazione. — Scoraggiamento dell'inventore.

Abbiamo già insistito sull'importanza che sulla fine del XVII secolo, si attribuiva all'impiego meccanico della pressione dell'aria. In questa si vedeva il mezzo di dotare l'industria del motore che le mancava.

Fino all'epoca delle ricerche che egli aveva effettuate con Boyle sulla macchina pneumatica, Papin nutriva più particolarmente questo grande pensiero, e credette aver trovato il modo di mandarlo ad effetto impiegando come motore diretto, una gran macchina pneumatica.

Tale era il suo programma, quando nel 1687 presentò alla *Società reale di Londra* il modello d'una

macchina destinata a *trasportare da lungi la forza dei fiumi*.

Per renderci conto dell'azione di questa macchina, imaginiamo un largo cilindro verticale, aperto superiormente, sostenuto da una tavola di metallo nella quale è praticato un foro che potrà venir chiuso o mantenuto aperto, a piacere, girando un robinetto.

In questo cilindro introduciamo uno stantuffo, vale a dire una piastra circolare massiccia che chiuda esattamente il cilindro e possa muoversi su e giù da un capo all'altro del cilindro. Supponiamo che questo stantuffo sia ora a metà altezza all'incirca del cilindro; diremo *capacità superiore* del cilindro quella parte di cilindro che sta fra la bocca e la faccia superiore dello stantuffo, e diremo analogamente *capacità inferiore* del cilindro, la porzione compresa fra la faccia inferiore dello stantuffo e la tavola di metallo sostenente il cilindro. Avvertiamo che il cilindro è aperto e perciò è ripieno d'aria atmosferica: questa premerà, dall'alto al basso, la faccia superiore dello stantuffo e lo solleciterà a discendere, ma d'altra parte l'aria che sta al disotto dello stantuffo, nella capacità inferiore del cilindro, tenderà colla sua reazione a produrre il movimento inverso. Questa seconda forza sarà eguale alla prima, se il robinetto è aperto, polchè l'aria atmosferica, come ogni altro gas, preme egualmente in tutti i sensi. Lo stantuffo sarà quindi sollecitato da due forze opposte che si faranno equilibrio. Lo stantuffo discenderà tuttavia, non già per la pressione atmosferica, ma in virtù del proprio peso; si potrebbe quindi impedire la discesa dello stantuffo applicandovi opportunamente un contrappeso un pochino più pesante dello stantuffo; questo contrappeso farebbe anzi salire lo stantuffo fino alla sommità del ci-

lindro. Supponiamo adunque lo stantuffo giunto in quella posizione estrema. Cerchiamo il modo di farlo discendere *con gran forza* e di ricondurlo poscia fino alla sommità del cilindro.

Fig. 12. Papin sperimenta la sua macchina a vapore.

Chiuso il robinetto inferiore, poniamo che si riesca a distruggere, *tutto d'un tratto*, tutta l'aria racchiusa nel cilindro, o in altre parole poniamo che nel cilindro si pratichi il vuoto. In tal caso lo stantuffo non subirà pressione alcuna dal sotto in su, mentre la faccia superiore sarà ancora premuta — dall'alto al basso — dall'aria atmosferica, perciò lo stantuffo *scenderà rapidamente*. Compiuta questa discesa, apriamo il robinetto. L'aria rientrerà nella capacità inferiore del cilindro e ritornerà a premere dal sotto in su la faccia inferiore dello

stantuffo; lo stantuffo sarà quindi premuto tanto da una parte quanto dall'altra, e rimarrebbe immobile se non vi fosse il contrappeso; ma il contrappeso secondo ciò che abbiam già detto, farà risalire nuovamente lo stantuffo fino al punto più alto della sua corsa, ossia fino in sommità del cilindro e tutto rientrerà nello stato iniziale. Estraendo nuovamente tutta l'aria dalla capacità inferiore del cilindro, lo stantuffo dovrà necessariamente discendere; aprendo poscia il robinetto, lo stantuffo dovrà risalire; e così via.

...ZA DEI PROFESSORI DELL'UNIVERSITA' DI MARBURGO.

In tal caso il vero motore del sistema sarebbe il peso dell'aria, come nella strada ferrata atmosferica.

Per vuotar d'aria quel cilindro, Papin adoperava una gran macchina a doppia pompa pneumatica, i cui stan-

lufi venivano messi in movimento — mercè opportune combinazioni meccaniche — dalla forza sviluppata dalle cadute d'acqua nei fiumi (1).

Il principio su cui fondasi questa macchina non ammetle obbiezioni; tuttavia, quando nel 1687, Papin volle sperimentarla in presenza della *Società reale di Londra,* essa diede risultati poco favorevoli altese le imperfezioni dell'apparecchio, le quali non permettevano di mantener vuoto il cilindro e rendevano lentissimo il movimenlo di va e vieni dello stantuffo.

Papin aveva fondate grandi speranze sulla felice riuscita del suo apparecchio; questo scacco le distruggava per sempre. Il suo soggiorno in Italia aveva assorbito lo scarso suo patrimonio, e la retribuzione di sessantadue franchi al mese, ch'ei riceveva dalla *Società reale,* era assolutamente insufficiente ai suoi bisogni. E' rivolse allora il suo pensiero verso la Francia; ma le porte della sua patria gli erano chiuse. L'impolitica ed iniqua revoca dell'editto di Nantes falla nel 1685, colpiva nei loro averi e nei loro diritti i protestanti francesi. L'esercizio della medicina, della chirurgia e della farmacia era vietato da quell'editto, ai membri della religione riformata.

Papin avrebbe potuto far cadere con una sola parola le barriere che lo separavano dal suo paese, entrare nell'Accademia delle Scienze dove il suo posto era già da lunga pezza fissato, e ricevere anch'egli i trattamenti lusinghieri che si prodigarono, tre anni dopo, a suo cugino Isacco Papin, a cui l'esiglio fece

(1) La descrizione di questa macchina fu pubblicata da Papin negli *Atti di Lipsia* (*Acta eruditorum Lipsiæ*) dicembre 1688, p. 644, sotto questo titolo: *De usu tuborum prægrandium ad propagandum in longinquum vim motricem fluviorum.* Essa fu riprodotta in un'altra opera di Papin: *Raccolta di cose diverse,* stampata a Cassel nel 1695.

piegare il coraggio, e che abiurò il protestantismo, nel 1690, fra le mani di Bossuet. Ma Dionigi preferì un esilio eterno all'umiliazione d'un'abiura.

Nel 1687 il langravio Carlo, elettore d'Assia, gli offrì una cattedra di matematica a Marburgo. Malgrado le preoccupazioni della politica e della guerra, questo principe illuminato s'era sempre compiaciuto nel seguire ed incoraggiare i lavori scientifici. Papin s'affrettò ad accettare l'offerta dell'elettore, ed arrivato a Marburgo, cominciò le sue lezioni pubbliche di matematica. Questa nuova professione, cui era poco inclinato, gli cagionò sul principio alcune noie ed alcune difficoltà. Ciò nullameno riprese ben presto i suoi lavori abituali.

L'applicazione del vuoto e della pressione atmosferica, utilizzata direttamente come forza motrice, nell'apparecchio a doppia pompa pneumatica aveva mal corrisposto alle speranze di Papin. Ei si lusingò di meglio raggiungere lo scopo cambiando il modo di produzione del vuoto.

Fino da quando essisteve Huygens nelle sue ricerche intorno alla polvere da cannone, Papin avea potuto apprezzare alcuni vantaggi e riconoscere i difetti d'un apparacchio che era il perfezionamento d'altro apparecchio molto grossolano ideato dall'abate Hautefeuille nel 1678. — Quello di cui servivasi Huygens si componeva d'un cilindro metallico A (fig. 13) nel cui interno si moveva a dolce sfregamento uno stantuffo B. Una corda B F, accavalcata ad una puleggia, era con una delle sue estremità congiunta allo stantuffo, dall'altra estremità pendeva il peso che volevasi sollevare; sul fondo del cilindro stava un bacinetto H, destinato a contenere polvere da cannona; verso la parte superiore, due valvole D D di cuoio destinate ad

aprirsi dall'interno all'esterno. Per far agire l'apparato, si collocava un pezzetto di miccia accesa nel bacinetto ripieno di polvere: questa, esplodendo, sviluppava notevole quantità di gas, che cacciava fuori, traverso le valvole D D, quasi tutta l'aria contenuta nel cilindro. La pressione atmosferica che esercitavasi sulla faccia superiore dello stantuffo non trovandosi equilibrata al disotto ove, come abbiamo veduto, esisteve aria molto rarefatta, costringeva lo stantuffo a discendere e sollevava quindi il peso F attaccato all'estremità della fune. — Era, come si vede, lo stesso principio della macchina precedente; col solo divario che il vuoto, o per meglio dire la rarefazione dell'aria, veniva prodotta in altra guisa. Ma anche la rarefazione così ottenuta era insufficiente, lo scoppio della polvere da cannone non riesciva a scacciare dal cilindro tutta l'aria atmosferica che vi si trovava. Papin che se ne accorse, si diede a ricercare un agente che fosse atto a meglio conseguire l'intento.

Fig. 13. Cilindro di Huygens.

Riflettendo continuamente intorno al modo di praticare il vuoto od almeno rarefare d'assai l'aria contenuta nel cilindro, senza ricorrere nè alla macchina pneumatica nè all'esplosione della polvere da cannone, Papin concepì un'idea felicissima e del tutto nuova. All'aria atmosferica si sostituì un gas che, alla temperatura di cento gradi centigradi, possiede forza elastica eguale a quella dell'aria, e che, all'abbassarsi della temperatura, perde rapidamente la sua forza; un gas

che scompare quasi completamente, quando l'abbassamento di temperatura ha raggiunto un certo limite. In altri termini, Papin trovò un modo pronto ed economico di servirsi del vapor acqueo per praticare il vuoto entro a recipienti di grandi proporzioni.

Nella storia della macchina a vapore non si può accordare a Papin altro titolo tranne questo d'aver pensato al vapore come mezzo di praticare il vuoto; ma questo pensiero, vera inspirazione del genio, basta ad immortalarlo, ed onorerà per sempre il suo nome, ed il suo secolo (1).

La memoria in cui Papin propone per la prima volta, l'impiego di una macchina avente per principio motore la forza elastica del vapore, fu pubblicata in latino negli *Atti di Lipsia,* il mese di agosto 1690, sotto questo titolo: *Nova Methodus ad vires motrices validissimas levi pretio comparandas* (Nuovo metodo per ottenere a buon mercato forze motrici considerevoli).

L'unita figura (fig. 14) farà comprendere gli elementi della macchina che Papin propose per utilizzare gli effetti meccanici del vapore.

A è un cilindro di rame chiuso al basso, aperto in alto

(1) Quantunque sia difficile rimontare col pensero la successione di idee che conducono un uomo di genio ad una grande scoperta, non ci sembra impossibile, dice il Figuier, determinare come Papin abbia riconosciuto questo fatto fondamentale che la condensazione del vapore dà il mezzo di operare il vuoto in uno spazio chiuso. Se non c'inganniamo, egli ottinse questa idea da un'esperienza fatta nel 1660 da Roberto Boyle. Il fisico irlandese aveva riconosciuto che immergendo nell'acqua fredda un'eolipila od un tubo di vetro pieno di vapore, l'acqua vi si innalza tosto e riempie l'eolipile come per succhiamento. Boyle che conservava ancora le antiche idee sulla trasformazione dell'acqua in aria per mezzo del calore e che parla altrove dei mezzi di generare l'aria artificialmente, non potè renderci esatto conto di questo fenomeno. Ma trent'anni dopo, Papin, più famigliarizzato coll'uso e colle proprietà del vapore, ne riconobbe la vera natura, e trovò il mezzo di fare il vuoto a volontà in uno spazio chiuso.

e contenente un po' di acqua nella sua parte inferiore. Questo cilindro è percorso da uno stantuffo mobile B. Un orifizio C, traversa questo stantuffo e permette di abbassare lo stantuffo fino a che la sua faccia inferiore tocca l'acqua, pur permettendo l'uscita all'aria che esiste al disotto dello stantuffo. Quando l'aria è così scacciata dal cilindro, si chiude quest'orificio C, abbassando l'asta M; si riscalda quindi la parte inferiore del cilindro col mezzo d'un bracere. L'acqua viene a bollire, ed il vapore acquista potenza bastevole per sollevare lo stantuffo e spingerlo fino in alto della sua corsa. Ottenuto questo effetto si spinge la linguetta E, che entrando in una scanalatura dell'asta H, ferma e mantiene lo stantuffo in quella posizione. Si allontana allora il bracere, il cilindro si raffredda, il vapore si condensa, il vuoto si fa per conseguenza al disotto dello stantuffo. Se allora si ritira la linguetta E, lo stantuffo, spinto da tutto il peso dell'atmosfera esterna, si precipita tosto sul fondo del cilindro. Questa discesa dello stantuffo può quindi servire ad innalzare dei pesi che fossero stati legati all'estremità della corda L, attaccata all'asta dello stantuffo, corda che passa sopra due carucole T T.

Fig. 14. CILINDRO A VAPORE DI PAPIN

Papin credeva che il suo apparecchio fosse atto a ricevere nell'industria un'applicazione immediata. In ciò egli cadeva nell'errore comune agli inventori, che non esitano a considerare il primo suggerimento della loro mente come l'ultima parola della scienza e dell'arte. Nella macchina del fisico di Blois, si può scorgere soltanto un mezzo per dimostrare sperimentalmente il principio della forza elastica del vapore, e mettere in evidenza il vantaggio che si può ricavare

dall'elasticità del vapor acqueo, impiegandolo come forza motrice. L'applicarla, come era concepita, agli usi dell'industria, era assolutamente impossibile. La disposizione grossolana, che consisteva nel mettere una piccola quantità d'acqua nel cilindro e nel produrre il vapore col mezzo d'un bracere sottoposto, di modo che l'apparecchio non era alimentato che da questa piccola quantità di acqua che non si rinnova mai; — il mezzo, più vizioso ancora, che faceva dipendere la caduta dello stantuffo dal lento raffreddamento spontaneo del vapore, prodotto soltanto dall'allontanamento del bracere; — quelle sottili pareti di metallo che l'azione del fuoco avrebbe rapidamente distrutte e che erano inette a resistere efficacemente alla pressione interna esercitata dal vapore; — l'assenza d'un mezzo atto a prevenire le esplosioni; — tutto ci mostra che questo apparecchio non presentava veruna delle condizioni che si vedono riunite nelle più mediocri macchine industriali del giorno d'oggi.

Questo errore doveva duramente pesare sul destino di Papin. I difetti della sua macchina erano di tale evidenza da balzare agli occhi di tutti. Per cui fu accolta con disapprovazione, e fu posta, d'unanime accordo, nel numero degli apparecchi imperfetti che lo stesso Papin aveva anteriormente fatti conoscere. Il suo grande concetto concernente l'impiego del vapore, fu travolto nello stesso sfavore che aveva accolto la sua macchina a doppia pompa pneumatica e la sua macchina a polvere. Nessuna raccolta scientifica di quell'epoca riprodusse la memoria pubblicata negli *Atti di Lipsia*. Il fisico Hooke si limitò a far risaltare, in alcune note lette alla *Società reale* di Londra, le imperfezioni della nuova macchina motrice proposta dal dottor Papin, e tutto fu detto.

L'indifferenza che incontrò questa invenzione ebbe conseguenze funeste pel povero Papin. Ei cominciò a dubitare di sè stesso; credette avere sbagliato strada ed abbandonò intieramente il progetto della sua macchina a vapore. Eppure bastava introdurre in questa macchina ben poche modificazioni, per renderla vantaggiosamente applicabile nell'industria. L'impiego d'una caldaia che servisse a condurre il vapore nell'interno del cilindro, ed il raffreddamento del vapore prodotto da un'aspersione d'acqua fredda, avrebbero bastato per farne il motore più potente che l'industria avesse posseduto fino a quell'epoca. Per disgrazia, le critiche scoraggiarono Papin, che cessò intieramente d'occuparsi di questo argomento, e quando, quindici anni dopo, lentò ritornarci, fu condotto a proporre un apparecchio affatto diverso dal primo, e nel quale, abbandonando la grande idea di cui l'onore gli appartiene, ricorreva a disposizioni viziose.

VIII

Leibnitz stimola Papin a pronunciarsi intorno alla macchina di Savery. — Seconda macchina di Papin. — Primo battello a vapore, costrutto da Papin. — Vandalismo dei marinai. — Mesta fine di Papin

Nel 1705 il filosofo Leibnitz, viaggiando l'Inghilterra, vide funzionare la macchina a vapore di Savery, della quale discorreremo fra poco, che fu la prima applicazione industriale della forza meccanica del vapore acqueo. Leibnitz, che era fin da prima in corrispondenza con Papin, mandò a questi il disegno della macchina inglese, invitandolo a pronunciarsi sul lavoro di Savery. Papin mostrò tanto la lettera quanto il di-

eegno al principe elettore d'Assia, e questi eccitò Papin a riprendere lo studio abbandonato già da quindici anni.

Il risultato del lavoro di Papin fu la pubblicazione d'un libricciuolo, stampato a Francoforte nel 1707, sotto il titolo di *Nuova maniera d'innalzare l'acqua colla forza del fuoco.*

La nuova macchina a vapore che Papin descrive in questa memoria, è un'imitazione peggiorata, della macchina di Savery. Papin propone d'impiegare la forza elastica del vapore ad innalzar l'acqua nell'interno di un tubo. Quest'acqua è così condotta in un serbatoio superiore, donde la si fa cadere sulle pale d'una ruota idraulica, a cui imprime un moto di rotazione.

La fig. 15 farà comprendere i varii particolari di questa seconda macchina a vapore, proposta da Dionigi Papin nel 1707. Questa figura è la riproduzione esatta d'un disegno posto dall'autore in testa alla sua memoria. Si osserverà che la caldaia ed il corpo di pompa sono muniti della valvola di sicurezza. Gli è, infatti, in questa memoria che Papin fa conoscere per la prima volta l'applicazione della valvola da lui imaginata ventisett'anni prima pel suo *digestore delle carni.*

Una caldaia A (fig. 15) dirige il suo vapore, per mezzo del tubo L, nell'interno d'un cilindro I, che deve alternatamente riempirsi e vuotarsi d'acqua. Il vapore viene a premere la faccia superiore d'uno stantuffo, o, per meglio dire, d'un galleggiante vuoto, che si mantiene (grazie alla sua leggerezza rispetto all'acqua) alla superficie dell'acqua che riempie il cilindro. Spinta da questa pressione, l'acqua s'innalza nel tubo E N Q. Quando il cilindro I è vuoto, ed il robinetto C è stato chiuso in modo da impedire il passaggio del vapore dalla caldaia nel cilindro, si apre il robinetto D, che

lascia uscire il vapore all' aperto. Allora la pressione atmosferica precipita in questo spazio (grazie a certe valvole convenientemente collocate) una parte dell'acqua tenuta in serbo in un vaso E H. Se allora si apre il robinetto C, nuovo vapore arrivando dalla caldaia provoca l'ascensione dell'acqua nel tubo E N Q, e lo stesso movimento continua senza interruzione, purchè si apra e si chiuda, nel momento opportuno; tanto il robinetto C che dà accesso al vapore quanto il robinetto D che lo lascia perdersi all'aria aperta.

Come fu qui descritto, questo apparecchio non poteva servire che all'unico scopo dell'elevazione delle acque. Per farne un motore applicabile ad ogni destinazione meccanica, Papin proponeva di far andare l'acqua così innalzata nell'interno d'una cassa Q R, chiusa da ogni lato, fuorchè al punto B, dove si trova un'apertura munita di robinetto, l'acqua esce da quell'apertura e cade sulle pale di una ruota idraulica P, la fa girare, e può così funzionare come un motore applicabile a diversi usi.

Così Papin abbandonava l'importantissima sua idea d'impiegare il vapore come mezzo per operare il vuoto entro ad un cilindro, ed adottava invece un processo, molto meno vantaggioso, si serviva della pressione del vapore per innalzare una colonna d'acqua. E' non faceva in ciò che copiare, con poche modificazioni, la macchina di Savery; questa macchina, già in uso in Inghilterra, aveva ottenuto un certo successo; Papin, fuorviato dall' apparenza di risultati utili che essa aveva forniti, perdeva così di vista il gran concetto che perpetuerà la memoria del suo genio: la produzione del vuoto, mercè la condensazione del vapore.

Fino a questi ultimi tempi si credette che le idee di Papin sopra questa seconda macchina a vapore non fossero mai uscite dal campo della teoria. Ma una corrispondenza di Papin con Leibnitz, trovata nel 1852 dal signor Kuhlmann, Professore nell' Università di Annover, gettò nuova luce sopra questo argomento.

Risulta da queste lettere, che dopo aver fatto co-

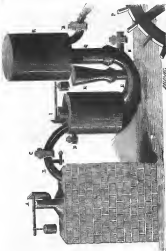



Fig. 15 SECONDA MACCHINA DI PAPIN.

strurre un modello della sua seconda macchina, Pa-

più la fece eseguire in grande per applicarla ad un battello, che fu provato dall'inventore sulla Fulda — Egli chiese ed adoperò anche la mediazione di Leibnitz all'uopo di ottenere dal principe elettore di Annover l'autorizzazione di far passare quel battello dalle acque della Fulda in quelle del Weser. L'autorizzazione fu ricusata; Papin si lusingò di poterne fare a meno. Imbarcatosi a Cassel, sulla Fulda, il 25 settembre 1707, arrivò a Münden lo stesso giorno.

Münden, città dell'Annover, è posta sul confluente della Fulda e della Wera, che colà si riuniscono e formano il Weser. Papin contava proseguire il viaggio sopra questo fiume, ed arrivare così a Brema presso alla foce del Weser nel mare del Nord, dove si sarebbe imbarcato sopra un bastimento che lo avrebbe poi condotto a Londra, rimorchiando il suo piccolo battello. Ma i marinai gli impedirono l'ingresso del Weser, e siccome egli insisteva e reclamava energicamente contro un procedere sì ingiusto, i marinai mandarono in pezzi la sua macchina.

Vecchio sventurato! privo dei mezzi sui quali aveva fondate tutte le sue speranze, senza risorse, quasi senza asilo, non sa più in quale angolo d'Europa andrà a nascondere i suoi ultimi giorni. Non osa ritornare a Marburgo, in quella università da lui volontariamente abbandonata, non può pensare alla Francia: più che mai l'accesso alla sua patria gli è chiuso, chè l'intolleranza religiosa, i cui eccessi disonorarono gli ultimi anni del regno di Luigi XIV, continua a dispiegarvi i suoi furori!

L'Inghilterra era stata per lui un'altra patria, ed egli pensò d'andare a morire sul suolo ospitale, dove avevano fiorito i pochi giorni felici della sua esistenza.

Debole ed ammalato, s'incamminò tristemente verso

quest'ultimo asilo della sua vecchiaia. Ma nel lungo intervallo della sua assenza i suoi amici avevano avuto il tempo di obbliarlo. Roberto Boyle era morto, ed il nome di Papin era quasi sconosciuto ai nuovi membri della *Società reale*. Per sovvenire ai suoi bisogni fu costretto riporsi al soldo di quella dotta assemblea. Il grande inventore, di cui il nostro secolo glorifica la memoria, si trovò da allora fino agli ultimi giorni della sua vita ridotto ad uno stato prossimo alla miseria. E' fu costretto, per mancanza di sufficienti risorse, a rinunciare a proseguire le esperienze del suo battello a vapore. « Io sono ora obbligato, dice egli in una sua lettera, di mettere le mie macchine in un angolo del mio povero camino. »

Infatti quell' ardore d' invenzione e di ricerche, che era stato quasi l'alimento della sua esistenza, persisteva ancora nell' animo del nobile vegliardo; era l'ultimo legame che lo attaccava alla vita. Egli era continuamente occupato a combinare nuove macchine per la cui esecuzione reclamava, troppo di sovente invano, i soccorsi della *Società reale*. La povertà e l'abbandono in cui lo sventurato filosofo trascinò il peso de' suoi ultimi giorni, dovevano essergli ben dolorosi poichè era carico di famiglia.

Erroneamente si fissa d'ordinario all'anno 1710 l'epoca della morte di Papin. Ei viveva ancora nel 1714, se vogliamo stare all' ultima lettera di Leibnitz, solo documento che permette di chiarire gli ultimi giorni della vita di Papin. Non si può precisare l' epoca in cui venne a morire. Egli languì senza dubbio alcuni anni ancora nell'isolamento e nella povertà, ed è doloroso il pensare che il bisogno abbia potuto abbreviare il termine della sua triste esistenza.

Alcuni scrittori hanno voluto spiegare il mistero

che ricopre gli ultimi tempi della vita di Papin, con un segreto ritorno in patria, dove avrebbe voluto morire. Così non si conosce neppure in qual paese riposano le ceneri di quest'uomo sventurato!

Gettando uno sguardo complessivo sui lavori di Papin, bisogna pur riconoscere ch' essi portano l'impronta del genio. Tuttavia il suo merito fu contestato, ed in una relazione sulla macchina a vapore, il dottor Robison non temette di asserire: « Papin non era nè fisico, nè meccanico. » — Chi ebbe il pensiero di creare una forze motrice colla sola azione dell'acqua bollente, non fu soltanto un meccanico, ma un meccanico di genio.

Convien però riconoscere che ne'suoi lavori, Papin mancò di spirito continuativo: e' procedeva a sbalzi e come a capriccio. Scopriva varii fatti sparsi importantissimi, e non sapeva trovare loro un nesso comune. Stabiliva grandi principii, ed era incapace di dedurne le conseguenze più prossime. Nei primi tempi della sua vita scientifica, occupandosi dell'insignificante argomento della cottura delle carni, egli inventa la valvola di sicurezza, e soltanto alla fine della sua carriera pensa ad applicarla ad una macchina, le cui disposizioni sono difettose. Durante la costruzione d'un altro apparecchio imperfetto, il motore a doppia pompa pneumatica, egli inventa il robinetto a quattro aperture, organo da cui Leupold e Giacomo Watt trassero in appresso sì gran partito nelle macchine a vapore. Finalmente ei trova il principio fondamentale dell'impiego del vapore per praticare il vuoto e sollevare uno stantuffo; e ben presto, fuorviato dalla critica, perde di vista la sua invenzione e muore senza imaginare la straordinarie importanza ch'essa deve acquistare un giorno. In tutto ciò avvi

un vizio di mente che si tenterebbe invano dissimulare.

Le circostanze della vita di Papin spiegano questo difetto. Se la sua esistenza fosse corsa calma ed onorata nella sua patria, s'egli avesse vissuto circondato da aiuti intelligenti, di costruttori e di operai, se avesse gustato per alcun tempo gli agi e la libertà d'animo che sono necessarii all'esecuzione di lunghi lavori, non sarebbe mestieri difendere la sua memoria da tali rimproveri. La posterità, che conosce solo un lembo del suo genio, possederebbe invece Papin tutto intiero. Ma, allontanato fino dalla sua gioventù dal cielo della sua patria, obbligato a trascinare traverso l'Europa il peso dei suoi dolori e della sua povertà, obbligato a battere col suo bastone da viaggio alla porta delle Accademie straniere, lo sventurato filosofo poteva egli lasciarci altra cosa che gli abozzi del suo genio?

E per quanto imperfetti essi siano, bastano a far comprendere quanto si poteva aspettarsi da lui in condizioni più favorevoli. — Mentre egli vegetava dimenticato in Germania, un semplice fabbro del Devonshire, chiamato Newcomen, privo d'ogni cognizione scientifica, eseguiva la prima macchina a vapore atmosferica, limitandosi, come vedremo prossimamente, a coordinare le sparse invenzioni del fisico francese.

IX.

I commerci e l'industria inglese nel XVII secolo. — L'asciugamento delle miniere. — Obbiezioni del professore Hooke alla macchina di Papin. — La macchina a vapore del capitano Savery. — *L'Amico del minatore.* — Condizioni incompatibili nella macchina di Savery.

Durante la sua dimora in Germania, Papin pubblicò la descrizione della sua macchina a vapore atmosferica; la Germania accordava allora ben misero appoggio alle industrie: quel paese non poteva quindi essere un campo propizio al pratico sviluppo delle idee di Papin. Nè migliori erano le condizioni della Francia che, impoverita d'uomini e di denari da trent'anni di guerre, vedeva deperire di giorno in giorno i suoi commerci. In condizioni ben diverse trovavasi l'Inghilterra. Dopo la ristaurazione degli Stuardi, i commerci e le industrie vi pigliavano rapido sviluppo. Favorita dalla pace e da un' amministrazione intelligente, la grande nazione incominciava a trar partito dalle ricchezze accumulate dalla natura sotto al suolo inglese. Le miniere di carbon fossile, sparse con straordinaria profusione sotto al suolo d' Inghilterra, vi costituiscono, come è noto, una delle più larghe fonti di ricchezza. Queste miniere venivano utilizzate in grande scala già da molti anni; ma la disposizione geologica della massima parte dei terreni carboniferi della Gran Brettagna è tale, che immense correnti d'acqua si alternano continuamente con gli strati carboniferi. La presenza di questi forti corpi d'acqua sotterranei opponeva gravissimo ostacolo all' estrazione del combustibile, e la profondità ognor crescente a cui giungevano i lavori nell' interno delle miniere

accresceva di giorno in giorno inconvenienti e pericoli. I mezzi, spesso insufficienti, usitati fino a quel tempo per l'estrazione dell'acqua dal fondo delle miniere, cagionavano spese enormi; i proprietari di miniere vedevano approssimarsi il momento in cui il troppo forte dispendio necessario all'estrazione dell'acqua li avrebbe costretti ad abbandonarle.

L'annuncio d'un nuovo motore, potente ed economico, non poteva, in tale stato di cose, essere accolto con indifferenza da un popolo che vedeva dipendere la sua prosperità o la sua rovina dalla più o meno felice soluzione dell'importante quesito dell'asciugamento delle miniere.

Tommaso Savery, già operaio minatore, poi capitano di marina e meccanico abilissimo, occupavasi da lungo tempo dello studio dei mezzi meccanici applicabili all'asciugamento delle miniere di carbone, quando venne a cognizione dei lavori di Papin. Le idee di quest'ultimo erano acerbamente criticate in Inghilterra. Roberto Hooke aveva messi in evidenza tutti i difetti della macchina atmosferica di Papin. Gli attacchi di Hooke erano perfettamente giustificati dalle grossolane disposizioni dell'apparecchio di Papin considerato quale macchina motrice. La necessità di continuamente avvicinare ed allontanare il fuoco; l'effetto dannoso che l'intenso calore avrebbe esercitato sulle pareti esterne del cilindro; la lentezza, quasi ridicola, dei movimenti dello stantuffo, che dava appena un'oscillazione al minuto — erano ostacoli gravissimi all'applicazione industriale di quest'apparecchio. Ma il critico inglese, perdutosi in queste minute obbiezioni, sconosceva il grande concetto di Papin, che immaginando di praticare il vuoto in un cilindro mercè la condensazione del vapor acqueo dotava la meccanica

dell'idea più grande e più nuova fra quante mai ne registrasse la storia di codesta scienza.

L'argomentazione ed i rimproveri di Roberto Hooke aviarono Tommaso Savery. Questi, anzichè limitarsi ad introdurre nell'apparecchio di Papin quelle semplicissime modificazioni che sarebbero bastate a renderlo di pratica utilità, volle costruire una macchina a vapore fondata su principio del tutto diverso. Abbandonando l'idea del cilindro e dello stantuffo, ei fabbricò un modello di macchina in cui combinò l'effetto del vuoto prodotto dalla condensazione del vapore, coll'impiego immediato della sua forza elastica. In questa macchina l'acqua è aspirata, entro ad un tubo che discende nel pozzo, grazie al vuoto prodotto dalla condensazione del vapore, ed è quindi cacciata in alto, entro ad un tubo ascendente, per la pressione diretta d'un getto di vapore che dopo di ciò condensavasi alla sua volta e serviva a produrre nuovamente il vuoto. Papin aveva concepito un motore universale, Savery proponeva una macchina buona soltanto ad innalzar l'acqua.

Nel 1698 Savery chiese al governo inglese un brevetto per la costruzione della sua macchina a vapore, e la fece funzionare a Hampton Court in presenza di re Guglielmo che vi prese vivissimo interesse. Il 14 giugno 1699 la si esperimentò in presenza della *Società reale di Londra*.

La macchina di Savery ricevette da lui medesimo, a parecchie riprese, varii perfezionamenti. Le ultime modificazioni ch'egli introdusse nel suo apparecchio, modificazioni che valsero a farlo funzionare regolarmente, sono consegnate in un opuscolo pubblicato nel 1702 sotto il titolo di *Amico del minatore* (*The miner's Friend*).

L'unita fig. 16 rappresenta i principali elementi della macchina di Savery. Ed ecco il modo con cui agisce:

Il vapore acqueo svilluppatosi in una caldaia B, esposta al fuoco, traversa il tubo O e passa nell'interno d'un recipiente

Fig. 16. MACCHINA A VAPORE DI SAVERY.

metallico S parzialmente pieno d'acqua: il vapore introdottosi in questo recipiente preme con gran forza sull'acqua contenutavi (poichè, come abbiam detto e ripetuto più volte, il vapore è una sostanza elastica che tende sempre ad aumentare di volume e perciò preme con forza sugli oggetti che

si oppongono a questo aumento di volume) e la spinge nel tubo A; nel passare da S in A l'acqua apre dinanzi a sè la valvola *a* — che si apre quando è spinta dal sotto in su; e nel frattempo rimane chiusa, pel proprio peso, la valvola *b* — che si apri si apre dal sotto in su. Per tal modo l'acqua ascende nel tubo A fino a che, trovata nella sua parte superiore una bocca, sgorga da essa. Così il recipiente S va perdendo a poco a poco tutta l'acqua che conteneva, ed il posto prima occupato dall'acqua è ora occupato dal vapore giuntovi dalla caldaia; chiuso allora il robinetto *c* onde impedire l'ingresso d'altro vapore dalla caldaia, si apre un robinetto *e*, adattato al serbatoio E contenente acqua fredda. Questo serbatoio è disposto in guisa che l'acqua fredda sgorgante da esso va a cadere sulle pareti metalliche del recipiente, le quali si raffreddano al contatto dell'acqua fredda. Raffreddandosi le pareti del recipiente, si raffredda anco il vapore contenutovi; il vapore raffreddatosi si condensa, produce poca acqua e lascia quasi vuoto il recipiente S. In tale stato di cose l'acqua contenuta nel tubo discendente D non trovasi più sottoposta ad alcuna pressione dall'alto al basso, mentre l'acqua esistente nel serbatoio in cui è immerso il tubo D, è pur sempre premuta dall'aria atmosferica; perciò l'acqua è costretta a salire in questo tubo (come ben sapete essa salirebbe fino all'altezza di circa 10 metri), apre dinanzi a sè la valvola *b*, e va ad occupare il vuoto esistente nel recipiente S. — In questo frattempo la valvola *a* è sempre rimasta chiusa pel proprio peso e pel peso dell'acqua sovrastante.

Se aprite di bel nuovo il robinetto *c*, nuovo vapore esce dalla caldaia, entre nel recipiente S, preme l'acqua contenutavi, la obbliga ad aprirel la valvola *a* ed a salire su pel tubo A; — poi chiudendo questo robinetto *c* ed aprendo il robinetto *e*, l'acqua fredda colpisce nuovamente le pareti del recipiente S, la raffredda; raffredda il vapore contenutovi, e produce quindi il vuoto nel recipiente. Ecco mancare così la pressione dall'alto al basso, ma sussistendo sempre la pressione atmosferica dal basso all'alto, nuova acqua sale pel tubo D e va ad occupare il recipiente S. — Ecco il modo in cui questo recipiente si empie e si vuota alternatamente, e l'acqua contenutavi ascende lungo il tubo A e va a scaricarsi ove si desidera. Aprendo e chiudendo alternatamente i due robinetti *c* ed *e*, si estrae così poco a poco l'acqua contenuta nel serbatoio.

Questa macchina presenta un difetto gravissimo; il recipiente S dovrebbe soddisfare ad un tempo a due opposte condizioni: dovrebbe avere pareti ben grosse per resistere alla considerevole pressione interna del vapore, ma d'altra parte queste pareti dovrebbero essere ben sottili onde permettera un pronto raffreddamento al contatto dell'acqua fredda.

Tuttavia sarebbe vera ingiustizia il contestare a Savery l'onore che gli è dovuto per aver ideata e costrutta la prima macchina a vapore che abbia funzionato in Europa. Se la posterità deve profonda riconoscenza allo scienziato che scopre grandi verità teoriche, essa deve pure egual tributo d'omaggio a chi trasportando le idee teoriche nel campo della pratica ne trae i primi frutti.

Ad onta dei difetti accennati e dei pericoli d'esplosione che pur presentava, l'apparecchio in discorso andò lentamente diffondendosi in alcune contee d'Inghilterra e valse a richiamare l'attenzione del pubblico sull'impiego meccanico del vapore.

X.

LA MACCHINA ATMOSFERICA DI NEWCOMEN.

Il fabbro Newcomen ed il vetraio Cawley — Perfezionamenti da essi introdotti nella prima macchina di Papin. — Associazione con Savery. — Diffusione delle *macchine atmosferiche di Newcomen.* — Perfezionamento dovuto al caso ed allo spirito d'osservazione dell'inventore. — La condensazione del vapore nell'interno del cilindro.

A quei tempi vivevano nella città di Darmouth due artigiani onesti e laboriosi, amici fin dall'infanzia; erano il fabbro Tommaso Newcomen ed il vetraio Giovanni Cawley. Fortune volle che una macchina di Savery venisse stabilita nelle vicinanze di Dar-

mouth. Nei giorni di riposo i due artigiani andavano assieme ad osservarne il meccanismo, e nel ritorno ragionavano fra loro degli effetti di quella nuova macchina che era per essi oggetto di grandissima ammirazione.

Newcomen non era del tutto privo d'istruzione; ei teneva corrispondenza col fisico Roberto Hooke, suo compatriotta, e sottoponeva, di quando in quando al di lui giudizio varii progetti relativi alla propria professione. Istigato da Cawley, Newcomen comunicò a Hooke le riflessioni da essi fatte intorno alla macchina di Savery. In risposta, Hooke fece conoscere all'artigiano la macchina atmosferica proposta da Papin nel 1690 e gliene espose i principali difetti. Per buona sorte le cognizioni di Newcomen erano assai scarse; perciò le obbiezioni di Hooke produssero mediocre impressione sull'animo di Newcomen. I due artigiani, malgrado il parere sfavorevole di Hooke, vollero tentare di perfezionare l'apparecchio di Papin, si torturarono il cervello per rintracciare un modo d'ottenere più rapidamente il condensamento del vapore e quindi il vuoto nel cilindro, allo scopo di conseguire oscillazioni più frequenti dello stantuffo. — In luogo d'esporre il cilindro al fuoco ed aspettare poi tranquillamente il raffreddarsi del cilindro pel solo allontanamento del fuoco; Newcomen e Cawley ebbero l'idea semplicissima di modificare l'apparecchio in guisa da poter condensare il vapore mercè un getto d'acqua fredda spruzzata sulle pareti esterne del cilindro. Si misero all'opra, costrussero un modello della macchina così modificata ed incominciarono ad eseguire con esso, una serie di esperienze.

Nel modello costrutto da Newcomen e Cawley il vapore non è generato nell'interno del cilindro, come nel

modello di Papin, ma si sviluppa in apposita caldaia esposta al fuoco. I due artigiani, conservarono però il cilindro metallico verticale chiuso inferiormente ed aperto in sommità; nell'interno di questo cilindro vi è uno stantuffo ben calibro destinato a percorrere tutta l'altezza del cilindro, ora salendo, ora discendendo. Il vapor acqueo sviluppatosi nella caldaia esposta al fuoco, traversa un tubo e penetra nella capacità inferiore del cilindro, la riempie ed equilibra in tal modo la pressione atmosferica che si esercita sulla faccia superiore dello stantuffo. Allora, essendo equilibrata la pressione atmosferica, si ha da vincere soltanto il peso dello stantuffo; disponendo quindi opportunamente un contrappeso, questi, discendendo solleva lo stantuffo fino in sommità del cilindro.

Quando il vapore ha promosso per tal modo il sollevamento dello stantuffo, si impedisce l'ulterior ingresso di vapore dalla caldaia nel cilindro — chiudendo una chiave o robinetto adattato al tubo di comunicazione — e si provoca il raffreddamento del vapore che riempie tutto il cilindro. Papin raggiungeva assai imperfettamente questo scopo ritirando, di volta in volta, il bracere che aveva servito a riscaldar la base del cilindro metallico. Newcomen e Cawley impiegarono invece un sistema di gran lunga migliore; circondarono il cilindro della loro macchina, con un secondo cilindro, di diametro alquanto maggiore e fecero cadere un' abbondante pioggia d' acqua fredda, entro allo spazio anulare compreso fra la parete esterna del cilindro minore e la parete interna del cilindro maggiore. Il contatto di quest' acqua raffredda le pareti del cilindro minore e quindi anche il vapore contenutovi, questi si condensa, ridivien liquido, precipita al fondo del cilindro la-

sciando in breve quasi vuota tutta l'interna capacità del cilindro. In questo stato di cose, la faccia superiore dello stantuffo continua ad essere premuta dall'aria atmosferica, mentre la faccia inferiore di quello stantuffo non è più soggetta ad alcuna pressione (poichè il raffreddamento ha annullata la forza elastica del vapore) perciò lo stantuffo precipita al fondo del cilindro.

Augurando bene dalla felice riuscita delle loro esperienze, Newcomen e Cawley cercarono d'ottenere dal re un brevetto che valesse a garantire loro la proprietà dell'invenzione; la domanda di un fabbro senza appoggi non poteva, a quei tempi, essere esaudita dall'oggi al domani; passò quindi un bel tratto di tempo prima che le autorità la esaminassero. — Frattanto Savery venne a conoscere la cosa: il brevetto ch' egli aveva già conseguito dichiarava sua invenzione il condensamento del vapore coll'aspersione d'acqua fredda, e perciò ei si oppose a che la domanda degli artigiani fosse esaudita. — Una lite fra i due inventori sembrava inevitabile; per buona sorte Newcomen e Cawley erano quaqueri; i principii della loro setta non permettono le liti, e perciò essi vollero combinare la cosa amichevolmente, proposero quindi a Savery di farlo entrare nell'associazione, di dividere in società i benefici che sarebbero ad essi derivati dal nuovo motore.

L'offerta fu accettata, e l'appoggio di Savery, ch'era ben veduto a corte, valse ad ottenere ben tosto dal re Giorgio il rilascio del brevetto. Nel 1705 i tre soci ricevettero una *patente* regia per la costruzione e l'esercizio d'una macchina a vapore atmosferica.

Sul cadere del 1711 Newcomen e Cawley tentarono di stipulare un contratto col proprietario delle miniere di carbon fossile di Griff, nella contea di War-

wick, per estrarne l'acqua con la loro macchina. Il proprietario impiegava ben cinquanta cavalli pel solo asciugamento della miniera, e con ciò spendeva annualmente 22,000 franchi; tuttavia ei non seppe comprendere l'utilità che gli sarebbe derivata sostituendo la macchina ai cavalli. Di lì a sei mesi gl'inventori riescirono a stipulare un contratto di simil genere con un signor Back di Wolverhampton.

Si diede tosto mano alla costruzione, in grande scala, della macchina occorrente, mercè l'aiuto di alcuni intelligenti operai di Birmingham; costrutta la macchina, la si installò alla bocca del pozzo della miniera ove incominciò a funzionare.

La macchina di Papin così perfezionata riguardo al modo di raffreddare e quindi condensare il vapore, eccitò in sommo grado l'attenzione dei proprietarii di miniere. Essa si diffuse rapidamente in parecchie contee d'Inghilterra rendendo segnalati servigi. La poca rapidità dei suoi movimenti, necessaria conseguenza del modo ancor troppo lento con cui il vapore veniva raffreddato e perdeva la sua elasticità, lasciava tuttavia largo campo ai desiderii di miglioramenti. Fortunatamente intervenne il caso ad indicare un modo semplicissimo per riparare a quella dannosa lentezza di movimenti.

L'arte di tornire internamente grandi cilindri metallici e di chiuderli ermeticamente con stantuffi mobili, era ancor bambina al principio del secolo XVIII. Perciò nelle prime macchine di Newcomen si suppliva a quest'imperfezione di tornitura, ricoprendo la faccia superiore dello stantuffo con uno strato d'acqua destinata a riempiere i vuoti compresi fra il contorno circolare dello stantuffo e la superficie interna del cilindro. Con somma sorpresa dei costruttori, una

delle lor macchine, si mise un bel giorno ad oscillare assai più rapidamente del solito. Dopo lunghe indagini si potè riconoscere che lo stantuffo di quella macchina era forato, l'acqua fredda cadeva per quel foro, goccia a goccia ed attraversando il vapore ne provocava la rapida condensazione.

Quest'osservazione non andò perduta e portò tosto i suoi frutti: fino allora si era conseguita la condensazione del vapore iniettando l'acqua fredda nello spazio anulare interposto fra i due cilindri. Si levò via il cilindro esterno e si ottenne il condensamento del vapore iniettando, mercè una bocca d'anaffiatoio, una *pioggia d'acqua fredda* entro alla capacità inferiore del cilindro, nell'istante preciso in cui lo stantuffo deve incominciare a discendere.

Con tale perfezionamento si ebbero da questa macchina, nota col nome di *macchina di Newcomen*, otto e persino dieci oscillazioni, dello stantuffo, ad ogni minuto.

L'unita figura 17 farà comprendere i varii elementi che compongono questa macchina

Una caldaia A, munita d'una valvola di sicurezza O, serve alla produzione del vapore il quale esce per un tubo — applicato alla sommità della caldaia, — ed entra nel cilindro soprastante C; nell'interno del quale muovesi lo stantuffo H, congiunto, mediante una robusta catena di ferro, ad un pesante bilanciere, girevole intorno ad un perno L. All'altra estremità del bilanciere è fissata un'altra catena che porta un contrapeso M congiunto ad un lungo gambo N. Questo gambo scende giù nel pozzo della miniera e mette in movimento le pompe destinate al sollevamento delle acque. — Il vapore, giunto dalla caldaia nel cilindro, incontra lo stantuffo; e per la virtù che ha il vapore d'espandersi continuamente, preme dal sotto in su la faccia inferiore dello stantuffo, e lo obbliga a salire malgrado la controspinta cui esso è soggetto, sulla sua faccia superiore, in causa della pressione atmosferica. Quando lo stantuffo sale, il contrappeso M discende; questo

peso discendente contribuisca all'innalzamento dello stantuffo, che sale fino al punto più alto della sua corsa. Quando lo stantuffo è in codesta posizione, si impedisce l'ulteriore ingresso di vapore dalla caldaia nel cilindro, chiudendo il robinetto *a*; in pari tempo si apre il robinetto *b* che permette l'ingresso nel cilindro, — attraverso il tubo *d* — di un getto d'acqua fredda proveniente dal serbatoio G. Questo getto

Fig 17. MACCHINA ATMOSFERICA DI NEWCOMEN.

condensa rapidamente il vapore nell'interno del cilindro, il vapore così condensatosi in acqua, occupa piccolissimo spazio e perciò lascia pressochè vuoto il cilindro; allora l'aria esterna che non cessò mai di premere sulla faccia superiore dello stantuffo, non trovando più la resistenza opposta fin allora dalla forza espansiva del vapore, obbliga lo stantuffo a discendere fino al punto più basso della sua corsa;

fa oscillare di bel nuovo, ma in senso opposto, il bilanciere, ed innalza il gambo N. Aprendo quindi alternamente i due robinetti *a* e *b* si ottiene un moto continuo alternato di ascesa e di discesa del gambo N, moto che si può con tutta facilità far servire nelle pompe ad estrarre l'acqua dal pozzo.

L'acqua adoperata a produrre la condensazione del vapore, nonchè quella ottenuta dalla condensazione, esce dal cilindro pel foro F, a cui è adattato un tubetto *o* munito di robinetto che di quando in quando si apre.

Come si vede, l'effetto di questa macchina dipende soltanto dalla pressione che esercita l'aria atmosferica sulla faccia superiore dello stantuffo, e perciò si può ottenere una forza motrice tanto grande quanto si desidera, bastando assegnare a tal uopo proporzionate dimensioni allo stantuffo.

Quest'è il meccanismo della pompa a fuoco di Newcomen nella quale il motore principale è il peso dell'atmosfera: perciò essa dovrebbe dirsi *macchina atmosferica* o *macchina a vapore atmosferica*.

Essa presenta la più importante applicazione degli studi fatti dai fisici del XVII secolo intorno al peso dell'aria ed al suo impiego qual forza motrice.

XI.

Periodo stazionario. — Assidua vigilanza richiesta dalle macchine di Newcomen — Il fanciullo Potter, l'amore al giuoco frenato dal dovere, felice osservazione, Potter stabilisce le funicelle automotrici. — Amontons e i *fenomeni calorifici* — Ulteriori perfezionamenti nei particolari della macchina di Newcomen — L'invenzione del *termometro*, successivamente perfezionata dai fisici, permette lo studio dei fenomeni calorifici — Il termometro di Fahrenheit

Tutto ciò che abbiam detto fin qui è destinato a mostrare che la creazione dei singoli organi della macchina a vapore non fu conseguenza del caso, bensì l'applicazione di scoperte teoriche che successivamente si effettuarono nella scienza.

Abbiam già veduto che prima della creazione della fisica moderna non erasi ideato alcun serio apparecchio, in cui utilizzare il vapore; abbiam veduto come le scoperte scientifiche di Galileo, di Pascal, di Ottone di Guericke furono tosto apprezzate da Papin che ne trasse partito creando un nuovo motore.

Quest'intimo legame fra lo stato della scienza ed i progressi della macchina a vapore, si manifesta sempre più nell'esporre i perfezionamenti della macchina stessa. Un periodo di ben sessant'anni trascorse senza recare il menomo miglioramento ai principii meccanici concernenti l'impiego del vapore acqueo. Questo fatto si spiega da sè: durante sì lungo intervallo, la teoria del calore rimase del tutto stazionaria. I fisici completamente assorti nello studio, del tutto nuovo e sì interessante, dei fenomeni elettrici, non avevano peranco presi in esame i fenomeni relativi al calore. Solo nel 1760 furono gettate dal fisico Giuseppe Black le basi delle teorie della vaporizzazione, della condensazione e del cangiamento di stato dei corpi. — Per tal modo la storia della macchina a vapore, nel periodo corso fra la costruzione della prima macchina di Newcomen e gli studi di Black, nel 1760, può appena registrare qualche perfezionamento introdotto nella parte esclusivamente meccanica degli apparecchi. Ma quanto si riferisce al principio motore della macchina, rimane completamente estraneo a queste modificazioni secondarie, che accenneremo in poche parole.

Il primo perfezionamento introdotto nel meccanismo della pompa a fuoco è dovuto ad una curiosa circostanza, degna d'essere ricordata.

La macchina di Newcomen esigeva la più assidua attenzione per parte della persona cui era affidato

l'incarico di aprire e chiudere alternatamente i due robinetti, destinati l'uno a permettere l'ingresso del vapor acqueo nel cilindro, l'altro a favorire l'ingresso della pioggia d'acqua fredda, destinata a condensare il vapore che ha già servito. Con la massima vigilanza per parte dell'incaricato, non si ottenevano più di dieci a dodici colpi di stantuffo per minuto; la più leggera distrazione dell'incaricato bastava, non solo a ritardare il movimento della macchina, ma a compromettere l'esistenza.

Nel 1713 un vispo fanciullo, per nome Enrico Potter, era incaricato della manovra di quei due robinetti, in una macchina di Newcomen. Un lavoro sedentario e tanto noioso non si addiceva al carattere vivace del nostro Enrico, tanto più che a poca distanza dal luogo in cui era costretto a rimanere tutto il giorno, altri fanciulli recavansi invece a trastullarsi allegramente. Qual tentazione per il povero Potter! Egli vedeva tutti i giorni quei fanciulli, avrebbe voluto prender parte a quei giuochi, ma non c'era da scherzare, il lavoro affidatogli non gli permetteva di allontanarsi dalla macchina neppure per mezzo minuto; egli amava divertirsi, ma riconosceva in pari tempo che il dovere lo teneva inchiodato in quel posto, sapeva benissimo che dall'aprire e chiudere alternatamente ora uno ora l'altro dei due robinetti, dipendeva il movimento della macchina ed egli non avrebbe voluto, per tutto l'oro del mondo, che la macchina si arrestasse per sua colpa. Egli si logorava la mente per trovare un modo d'allontanarsi dalla macchina per andare a giuocare senza che nessuno avesse a fargliene un carico, senza che il movimento della macchina subisse interruzione. — La sua testa si esalta, la passione gl'infonde il genio: Potter scopre dei rapporti rimasti fino allora

inavvertiti. Uno dei robinetti vuol essere aperto nel preciso istanta in cui il bilancere termina la sua oscillazione discendente: è mestieri chiuderlo, quando il bilancere è al termine dell'oscillazione ascendente. La manovra del secondo robinetto è precisamente inversa. Le posizioni del bilancere e dei robinetti dipendono quindi l'una dall'altra. Potter trae tosto partito da quest'osservazione, ei ricenosce che il bilancere può servire ad imprimere agli altri organi tutti i movimenti richiesti dal giuoco della macchina. Detto fatto, egli allaccia, a ciascun robinetto, due funicelle di inegual lunghezza, e dopo vari tentativi ne fissa i capi a punti convenientemente scelti sul bilancere; le trazioni che il bilancere esercita su due funicelle salendo, le trazioni che esso produce sulle altre due funicelle discendendo, sostituiscono la mano del sorvegliante; per la prima volta la macchina a vapore cammina sola; per la prima volta si vede presso alla macchina un operaio solo, ed è il fuochista che di tempo in tempo ravviva ed alimenta il fuoco acceso sotto alla caldaia. — Non occorre aggiungera che Potter, appena si avvide che la macchina andava stupendamente e senza alcun pericolo, andò tutto festante a trastullarsi con gli altri fanciulli. Ecco come in qualunque età lo spirito d'osservazione può produrre grandi risultati!

Nel 1718 il meccanico Beighton sostitul alle funicelle di Potter delle verghette rigide di ferro, fissata al bilancere ed armate di parecchie caviglie che andavano a premere ora dall'alto al basso, ora dal basso all'alto, le teste dei robinetti; grazie a questo perfezionamento si conseguirono sino a quindici oscillazioni al minuto. Più tardi le verghetta furono alla lor volta sostituite da altre combinazioni: ma, per quanto umiliante possa essere questa confessione, tutte

queste invenzioni furono semplici modificazioni del meccanismo suggerito ad un fanciullo dal bisogno di andare a giuocare coi suoi compagni.

Nel 1758 il meccanico Fitz-Gerald trovò il modo, con un sistema di ruote dentate e con l'aggiunta d'un volante destinato a regolare il movimento, di trasformare il moto alternativo verticale della macchina di Newcomen in movimento circolare continuo.

Fig 18 ENRICO POTTER TROVA IL MODO DI RAGGIUNG...

Brindley suggerì nel 1760 l'uso d'un galleggiante destinato a regolare l'ingresso dell'acqua d'alimentazione nelle caldaie; per ultimo l'ingegnere Smeaton riescì a perfezionare di molto la fabbricazione degli stantuffi e dei cilindri, sopprimendo così le considerevoli perdite di vapore che fino allora si verificavano nelle macchine atmosferiche.

Di queste ultime modificazioni, nessuna, come si vede, riferivasi al principio fondamentale della macchina di Newcomen; la quale continuava a funzionare col suo enorme bilancere, consumando ingente quantità di combustibile. E tutto questo per la ragione già detta: la fisica non possedeva ancora nè una teoria generale del calorico nè teorie particolari sulla condensazione e sulla vaporizzazione I primi fondamenti della teoria del calorico furono gettati nel 1694 dal fisico Guglielmo Amontons (1). — Da una serie d'esperienze che egli eseguì con ogni cura possibile, potè riconoscere il fenomeno della dilatazione dei corpi in virtù del calorico: riconobbe cioè che l'aria riscaldandosi aumenta di forza elastica, e sco-

...AGNI, SENZA PERICOLO PER LA MACCHINA AFFIDATAGLI

(1) Nato a Parigi nel 1663, morì nel 1705

perse il fenomeno importantissimo che la temperatura rimane invariabile nell'acqua che sia già entrata in ebollizione. Insomma, ei fu il primo a riconoscere esperimentalmente i *fenomeni calorifici*.

Rimaneva tuttavia un gravissimo ostacolo al progresso della teoria del calorico, un ostacolo che le impediva di stabilirsi sopra solide basi. Affinchè un ramo delle scienze fisiche possa costituirsi, perfezionarsi od estendersi, non basta possedere un certo numero di fatti, ma è pur necessario che questi fatti possano essere ravvicinati e comparati gli uni agli altri; è necessario possedere un mezzo con cui misurare l'intensità più o meno grande dei fenomeni. Fino allora non c'era alcun termine di confronto con cui giudicare i fenomeni prodotti dal calorico, non c'era uno strumento che potesse servire a misurarli. Esisteva bensì, già da un secolo, un piccolo apparecchio indicato col nome di *termometro* (misuratore del calorico); ma questo nome era usurpato, quell'apparecchio non poteva servire a misurare e comparare le diverse temperature dei corpi; serviva soltanto, ad apprezzare una differenza di temperatura fra due corpi inegualmente riscaldati.

Gl'istrumenti che ora ci servono a rintracciare le leggi della natura, furono originariamente costrutti dai loro inventori con moltissime imperfezioni; queste non scomparvero che successivamente davanti ai risultati dell'esperienza. Eccettuato il barometro che conserva anche adesso le disposizioni assegnategli da Toricetti, tutti gli altri strumenti d'osservazione o di misura fisica, come il telescopio, il microscopio, la macchina pneumatica, la macchina elettrica, la pila di Votta, ecc., dovettero subire grandissime trasformazioni prima di ricevere la forma che hanno presen-

temente. Il termometro in ispecie ne offre una prova. Ci vollero due secoli di lavori per portare codesto strumento al grado di perfezione di cui è oggi dotato.

Come i nostri lettori sapranno, il primo termometro ad aria, fu ideato da Galileo nel 1596; questo strumento era imperfetto; gli accademici fiorentini del *Cimento* perfezionarono in parte l'invenzione di Galileo; un fisico anconetano, il conte Renaldini, fu il primo a riconoscere la necessità di far scomparire dal termometro tutte le misure vaghe ed arbitrarie adottate fino allora. Egli propose di scegliere *punti fissi*, e tali da poter essere ovunque determinati per basare poi sovr'essi la graduazione dello strumento.

Poco appresso, Newton mise in atto il concetto di Renaldini, e pubblicò nel 1701 la descrizione del primo termometro ad indicazioni comparabili. Il liquido impiegato da Newton per la misura del calorico era l'olio di lino. I punti fissi adottati nella sua graduazione erano: la temperatura del corpo umano come termine superiore, e come termine inferiore il punto in cui s'arrestava l'olio nell'istante della sua congelazione, provocata immergendo nella neve il cannello di vetro contenente quell'olio. L'intervallo fra questi due punti fissi era diviso in dodici parti, e la stessa divisione veniva prolungata al di là di questi due limiti. Con tale graduazione, il punto d'ebollizione dell'acqua corrispondeva a 34 gradi, il punto di fusione dello stagno a 72 gradi, ecc. Mercè questo strumento, Newton determinò parecchi termini di temperatura la cui cognizione importava alla fisica.

Tuttavia la debole dilatazione che l'olio di lino presenta riscaldandosi e la sua congelazione a moderata temperatura rendevano incerto e delicato l'impiego del termometro di Newton. Ciò indusse Amontons a

ricercare un agente termometrico che fosse più sensibile alle influenze del calorico. A tale scopo, il fisico francese costrusse un termometro ad aria, e ne determinò il punto fisso dalla temperatura dell'acqua bollente, che Amontons riconobbe essere costante.

Ma in pratica questo strumento presentava le stesse difficoltà del termometro a gas, dipendenti in ispecie dalla dilatazione troppo considerevole che i fluidi elastici provano in causa del calorico. Esso richiedeva la correzione dell'altezza barometrica ed inoltre, siccome misurava più di metri 1, 30 di lunghezza, era incomodo a maneggiarsi.

Il problema della costruzione d'un termometro comparabile, esatto, sensibile e comodo, presentava, come si vede, difficoltà di vario genere. Esse furono superate quasi completamente in Danzica nel 1714 da un fabbricatore di strumenti, quel Gabriele Fahrenheit, di cui molti dei nostri lettori non avranno forse indovinato il nome sotto quel semplice F che pur vedono spesso accanto ai gradi del termometro.

Fahrenheit adoperava dapprima l'alcool come liquido termometrico, ma più tardi gli venne la felice idea di scegliere il mercurio. Questo metallo impiegato come misuratore del calorico, riuniva in fatto tutte le condizioni desiderabili. Il mercurio non si mette a bollire che a temperatura molto elevata, e si congela ad una temperatura tanto bassa, quale si presenta ben di rado nei nostri climi, e, ciò che più monta, si dilata in modo uniforme: vale a dire, il suo aumento di volume è esattamente proporzionale — per lo meno entro ad una scala sbbastanza ampia — alla quantità di calorico che riceve. Per conseguenza il mercurio si presta ottimamente a misurare il calorico entro a limiti molto estesi.

I punti fissi scelti da Fahrenheit erano l'ebollizione dell'acqua per termine superiore, e per termine inferiore il punto cui si arrestava il mercurio nello strumento, immergendolo in una mescolanza, a parti eguali, di sale ammoniaco e neve. L'intervallo che separa questi due punti fu diviso in 212 parti, in modo che il punto di congelazione dell'acqua corrisponde a 32 gradi, la temperatura del corpo umano corrisponde a 96 gradi, l'ebollizione dell'acqua a 212 gradi (1).

Fig 12 IL TERMOMETRO

Il termometro di Fahrenheit fu immediatamente adottato in Inghilterra ed in Germania, ove è in uso anco al presente In Francia e in Italia si fece maggior uso del termometro costrutto verso il 1730 da Réaumur, nel quale i due punti fissi sono: la temperatura del ghiaccio fondentesi e quella dell'ebollizione dell'acqua; ed ove l'intervallo è diviso in 80 parti eguali.

(1) Questa divisione in 212 parti, apparentemente arbitraria, fu adottata da Fahrenheit, poichè questi riconobbe sperimentalmente che 11,124 parti di mercurio, in volume, riscaldate dal punto o fino al punto d'ebollizione dell'acqua, si dilatano in modo da formarne 11,336, vale a dire in modo da presentare una dilatazione di 212 parti in volume.

Per ultimo Celsio, professore ad Upsala, costrusse nel 1741 il termometro conosciuto oggidì col nome di *termometro centigrado* o *di Celsio*. Egli divise in 100 parti eguali l'intervallo fra i due punti fissi del ghiaccio fondentesi e dell'ebollizione dell'acqua.

Così la fisica possedette finalmente uno strumento che permette di misurare i fenomeni calorifici. Era quindi possibile lo studiare le leggi del calorico con rigorosi mezzi di osservazione; loro mercè, la teoria del calorico non tardò a costituirsi.

XII.

Esperienze di Black: miscela d'acqua e ghiaccio. — Il calore latente e la moderna *Teoria dinamica del calore*. — Nulla si perde e nulla si crea — Il riscaldamento a vapore. — Influenza delle lezioni di Black sulla invenzione della moderna macchina a vapore

Il fisico scozzese Giuseppe Black (1) professore all'Università di Glasgow, ha il merito d'aver gettate le basi della teoria generale del calorico. Con una serie d'osservazioni e di rigorose misure, egli creò la teoria del *calorico latente* e quella del *calorico specifico*. La prima di queste teorie era destinata a gettare splendida luce sui fenomeni che accompagnano la vaporizzazione dei liquidi e la condensazione dei vapori. Essa si riassume nella seguente esperienza eseguita da Black nel 1762.

Prendendo un chilogramma d'acqua alla temperatura di 80 gradi ed un chilogramma d'acqua alla temperatura di zero gradi, e mescolandoli, il termometro immerso in questa mescolanza, indica 40 gradi, vale-

(1) Nato nel 1728, morì nel 1799

dire la media fra le temperature dei due liquidi mescolati a pesi eguali. Ma il risultato sarà ben diverso se in luogo d'impiegare acqua liquida a zero gradi, si fa uso di ghiaccio, vale a dire acqua che presenta del pari la temperatura di zero gradi, ma che è allo stato solido.

Mescolando adunque un chilogramma di ghiaccio a zero gradi ed un chilogramma d'acqua riscaldata a 80 gradi si osserva che il ghiaccio si fonde e che tutta quanta la mescolanza diventa liquida. Ma prendendo la temperatura della mescolanza, si riconosce che essa non rappresenta come nella precedente esperienza, la media fra le due temperature, ma segna solamente zero gradi. Perchè si riscontra differenza sì rilevante? Molto calorico è scomparso senza lasciar traccia di sè; ma in compenso tutto il ghiaccio si è fuso, e la mescolanza è diventata tutta liquida. Qual conclusione si può trarre da questo fenomeno? Che, per fondersi, il chilogramma di ghiaccio consumò tutto il calorico perduto dall'acqua, e che questa quantità di calorico andò spesa tutta quanta — poichè la temperatura non ha variato — a fondere il ghiaccio, ossia a disgregare le particelle solide che lo componevano. Dunque un chilogramma di acqua solida — a zero gradi — ha bisogno, per liquefarsi, di tutto il calorico indicato dagli 80 gradi del termometro. Da questo fatto, Black si credette in diritto di concludere che un chilogramma d'acqua liquida differisce da un chilogramma di acqua solida per una certa quantità di calorico in più contenuto nell'acqua liquida.

Questo calorico che non è apprezzabile ai nostri organi, che non è accusato dal termometro, che sembra nascosto nelle particelle liquide e che ebbe per risultato il cangiamento di stato del corpo, fu detto

da Black, *calorico latente* (1). Per tal motivo Black, ed i fisici che gli succedettero, dissero *calorico latente* il calorico che non è accennato al termometro e che va speso a provocare il cambiamento di stato dei corpi.

I fenomeni che si osservano nel passaggio di un corpo dallo stato solido allo stato liquido, si riproducono quando un liquido passa allo stato di vapore. Tutti i liquidi richiedono, per vaporizzarsi, una determinata quantità di calorico. L'acqua a 100 gradi sviluppa, in vaso aperto e sotto l'ordinaria pressione barometrica, vapor acqueo dotato anch'esso della temperatura di 100 gradi, ma questo vapore differisce dall'acqua liquida a 100 gradi, per una considerevole quantità di calorico che sembra dissimulato, latente,

(1) Quando una sostanza solida, esposta al fuoco o ad altra sorgente di calore, incomincia a fondersi, la temperatura di quella sostanza — fino a che la fusione non è completa — rimane invariabile per quanto sia grande l'intensità della sorgente di calore che provoca la fusione. Quest'importante fenomeno osservato per la prima volta dai Florentini *Accademici del Cimento*, fu poscia verificato sopra un gran numero di sostanze. Aumentando l'attività della sorgente di calore, si può bensì in un tempo determinato fondere maggior copia di quella sostanza, ma — finchè dura la fusione — non si riesce ad innalzare neppur d'un grado la temperatura di quella sostanza. Un corpo allo stato liquido sembra dunque possedere una considerevole quantità di calore insensibile ai nostri organi, che non produce effetto sul termometro. Questo calore ricevette il nome di *calore latente* per opposizione al nome di *calore sensibile* dato al calore che produce i cambiamenti di temperatura.

Si può domandare se il calore scomparso esiste realmente nel liquido allo *stato latente* o se invece non è *distrutto* durante il cangiamento di stato. I fisici moderni risposero che quel calore va distrutto, tuttavia la denominazione del calore latente, considerata come l'*espressione del fenomeno*, può essere conservata senza però annettervi alcun significato teorico.

I fisici moderni partendo dal principio, già dimostrato dalla chimica, che *in natura nulla si perde e nulla si crea*, riconobbero mercè numerosissime ed accuratissime esperienze, che *ogni produzione di lavoro meccanico corrisponde alla distruzione di una determinata quantità di calore*, che perciò appunto sembra scomparire, e che, viceversa *non vi ha produzione di calore senza distruzione di lavoro meccanico*. In altri termini: *il calore si*

che andò speso a trasformar l'acqua in fluido elastico. Quando all'incontro il vapor acqueo, condensandosi ritorna allo stato liquido, tutto il calorico, apparentemente assorbito dal liquido per trasformarsi in vapore, ricompare e riscalda tutti i corpi che esso incontra sulla sua via, purchè sieno atti ad assorbire calorico. Se ad esempio un chilogramma di vapor acqueo alla temperatura di 100 gradi è costretto a passare attraverso a chilogrammi 5,35 d'acqua a zero gradi, quel vapore si condensa, passa tutto allo stato liquido ed in questo cangiamento di stato, sviluppa enorme quantità di calorico: la mescolanza, pesante chilogrammi 6,35, raggiunge, l'elevata temperatura di 100. Bisogna quindi concludere che per provocare la trasformazione d'un chilogramma d'acqua a 100

trasforma in lavoro meccanico e viceversa. È questo il principio fondamentale della moderna *Teoria dinamica del calore.*

I fenomeni che servono di base a questa teoria son noti a tutti già da gran pezzo, ma soltanto i fisici moderni, collegando quei fenomeni, comparandoli fra loro, provocandone degli altri, poterono stabilire nel modo più irrefragabile l'intimo legame che esiste fra il calore ed il lavoro meccanico.

I selvaggi si procurano il fuoco confricando l'un contro l'altro due pezzi di legno: adoperando la trivella, la sega, il martello, questi utensili si riscaldano tanto più quanto più grande è la forza che opera la confricazione nei due primi casi, la percussione nel terzo. Son questi altrettanti esempi di calore prodotto dalla distruzione d'un lavoro meccanico. L'opposto avviene quando un corpo entra in fusione, allora vi ha distruzione di calore e produzione di lavoro meccanico, pendenti l'una dall'altra. Quando all'incontro un liquido si solidifica, il lavoro interno che riunisce le sue molecole, si trasforma in calore, e perciò si vede ricomparire una quantità di calore eguale a quella scomparsa durante la fusione (1).

Quando un liquido si evapora, tutto il calore impiegato va speso nel produr lavoro per distruggere la coesione delle molecole liquide e per vincere gli ostacoli che possono opporsi all'espansione del vapore. All'incontro quando un vapore ridivien liquido in virtù d'una compressione, il lavoro speso nella compressione, e quello derivante dalla coesione che riunisce le molecole vaporose, si trasformano in calore.

(1) Si può infatti riconoscere sperimentalmente, che, nel solidificarsi, un chilogramma d'acqua a zero gradi sviluppa 80 gradi di calorico.

gradi in un chilogramma di vapore a 100 gradi, fa mestieri spendere tanto calorico quanto ce ne abbisogna per portare un chilogramma d'acqua, cui fosse impedito di trasformarsi in vapore, dalla temperatura di zero gradi alla temperatura di 535 gradi centigradi. Questo risultato potrà sembrare straordinario, esso è però certo ed incontrastabile; il vapor acqueo esiste a questa condizione soltanto. Ovunque un chilogramma d'acqua a 100 gradi si evapora, sia naturalmente sia artificialmente, si deve, per trasformarsi, assorbire 535 gradi di calorico dai corpi circostanti, calorico che viene poi integralmente restituito dal vapore alle superfici d'ogni maniera che egli incontra per via e sulle quali avviene la di lui trasformazione in liquido (1).

Son queste le semplici ma importantissime verità poste in evidenza dalle scoperte di Black, verità ignorate completamente prima di lui. E facile comprendere quanto doveva essere utile la cognizione di questi fatti pel perfezionamento delle macchine mosse dal vapore. Divenne possibile il calcolare la quantità di calorico sviluppata dalla condensazione di un determinato volume di vapore entro al cilindro della macchina di Newcomen lo spiegare i fenomeni che accompagnano questa condensazione, l'apprezzare la forza elastica del vapore a diverse temperature; insomma, fu possibile studiare molti elementi pratici che hanno grande influenza negli effetti di questa macchina.

(1) In ciò appunto consiste tutto l'artificio del riscaldamento a vapore Si ingannano non poco, quanti imaginano che il vapore acqueo porti seco nei tubi che è obbligato a percorrere, soltanto calorico sensibile o termometrico: la massima parte del riscaldamento a vapore è dovuta al calorico che mantiene l'acqua allo stato vaporoso, al calorico, cosidetto latente, che sviluppasi nell'atto in cui il vapore, venendo a contatto con superficie fredde, è obbligato a ripassare dallo stato aeriforme allo stato liquido.

Le scoperte di Black concernenti il calorico specifico, vale a dire la quantità di calorico necessaria ad innalzare d'uno stesso numero di gradi un dato peso dei diversi corpi, introdussero nello studio teorico della macchina a vapore elementi d'un ordine nuovo e di molta importanza.

Black era professore all'Università di Glasgow, e dal 1763 in avanti vi spiegava ogni anno all'affollato uditorio la sua teoria del calorico latente.

Vedremo, nei seguenti capitoli, qual parte importantissima abbiano avute quelle lezioni nella creazione della moderna macchina a vapore. Prima però, dobbiam raccontarvi brevemente la vita d'uno dei più oscuri, ma in pari tempo fra i più assidui uditori di quelle lezioni, il cui nome rimarrà eternamente scolpito nelle pagine della storia. Quel modesto uditore chiamavasi Giacomo Watt.

XIII.

GIACOMO WATT.

Infanzia di Giacomo Watt. — Suo ardore allo studio. — Watt operaio a Londra. — Suo ritorno in Iscozia. — Opposizione mossagli dalle corporazioni d'arti e mestieri di Glasgow. — Appoggio accordatogli dall'Università. — Benevolenza generale pel giovane meccanico. — Affluenza degli studiosi nella botteguccia di Watt, discussioni scientifiche. — Fecondità della mente di Watt. — Costruzione d'un organo.

Giacomo Watt (1) nacque a Greenock in Iscozia il 19 gennaio 1736. Ei sortì dalla natura una complessione gracilissima. Sua madre gl'insegnò i primi

(1) Vedi ARAGO, *Oeuvres complètes*. Tomo primo, pag. 372, e seguenti.

elementi della lettura, il padre gl'insegnò a scrivere ed i principi dell'aritmetica; fu inscritto fra gli allievi della scuola elementare di Greenock, ma la sua mal ferma salute non gli permise di frequentare assiduamente le pubbliche lezioni. Il giovane Watt, obbligato a rimanersi nella sua stanzuccia, dedicavasi interamente allo studio. — Un amico di casa, entrando un giorno nella stanza del piccolo Giacomo, lo vide disteso sul pavimento, tracciare con la creta molte linee che si incrociavano. «Perchè permettete, disse il zelante amico ai genitori del fanciullo, che vostro figlio sciupi il suo tempo? mandatelo un po' a scuola!» «Badate che potreste esservi ingannato, rispose il padre, prima di biasimarci, esaminate di grazia di che si occupa ora il mio figliuolo.» L'amico

Fig. 10. GIACOMO WATT N[illegible]

si fece ad esaminare più attentamente quel complesso di linee, apparentemente confuse: il fanciullo di sei anni cercava la soluzione d'un problema di geometria.

BOTTEGUCCIA A GLASGOW.

Il padre, avendo riconosciuto nel suo Giacomo qualche disposizione per la meccanica, pose parecchi utensili meccanici a disposizione del giovanetto; questi se ne serviva con straordinaria abilità; smontava e rimontava tutti i giocatoli che gli cadevano fra le mani; e ne eseguiva di nuovi. Valendosi delle cognizioni acquistate e degli utensili fornitigli dal padre, il giovane Watt costrusse da solo una piccola macchina elettrica, le cui brillanti scintille formarono il divertimento di tutti i camerati del povero infermo. Questi traeva da ogni cosa argomento a meditazione profonda. Il padre pronosticava bene

dalle disposizioni meditative del figlio; ma altri della famiglia non dividevano le stesse speranze.

« Giacomo, dissegli un giorno sua zia, devo dirti che non ho mai veduto fanciullo più pigro di te. Per carità! prendi un libro, occupati utilmente. Da più d' un'ora non hai detto una parola, non hai aperta bocca. In tutto questo tempo cosa hai fatto? hai levato, poi rimesso e poi hai levato di bel nuovo il coperchio del vaso del thè; hai introdotto nella corrente di vapore che esce da quel vaso, ora una sottocoppa, ora un cucchiaio d' argento; ti sei divertito ad esaminare, a riunire ed a raccogliere le goccioline che la condensazione del vapore formava alla superficie della porcellana o del metallo; è una vergogna, sciupare il tempo a questo modo! »

Nel 1750 tutti avrebbero data ragione alla zia e biasimato il nipote; ma da allora ad oggi l'umanità ha progredito, le cognizioni si sono aumentate ed appunto perciò i rimproveri della zia non sembrano più sì giusti come sembravano nello scorso secolo. In oggi il piccolo Giacomo davanti al vaso del thè non è più un fanciullo ozioso, che sciupa il tempo, è il grande ingegnere che preludia le grandi scoperte, che dovevano poi immortalarlo: tutti troveranno ora ben degno di attenzione che le parole *condensazione del vapore,* figurino naturalmente nella storia della fanciullezza di Watt.

Fino ai diciannove anni Watt rimase sotto il tetto paterno dedicandosi interamente e da solo, senza alcuna guida, agli studi più disparati, studiò con pari amore la botanica e la mineralogia, la poesia e la storia, la chimica e la fisica, la medicina e la chirurgia. — Nel 1755 ei si recò a Londra presso Giovanni Morgan, abile costruttore di strumenti di matematica e di marina. L'uomo che di lì a qualche anno doveva coprir l' Inghilterra coi motori più colossali che si fossero mai veduti, entrò nella carriera industriale, co-

struendo con le sue mani strumenti sottili, delicati e fragili, costruendo quei piccoli ma preziosi sestanti a riflessione, a cui la nautica deve i suoi progressi.

Watt rimase un anno soltanto in quel laboratorio, poichè la debolezza della sua salute ed una grave malattia, ch' ei contrasse lavorando una intiera giornata di rigido inverno, presso alla porta del laboratorio, lo costrinsero ad abbandonar Londra. Per tentare gli effetti dell'aria nativa ritornò in Scozia e si recò a Glasgow col proponimento di aprire colà un laboratorio consimile. Le corporazioni d'arti e mestieri di quella città, fondandosi sui loro privilegi e considerando l'artista venuto da Londra quale un intruso, gli negarono ostinatamente il diritto di aprire a Glasgow il più meschino laboratorio. Ogni tentativo di conciliazione essendo rimasto infruttuoso, Watt invocò l'aiuto dell' Università, e questa mise a disposizione del giovine artefice un piccolo locale nel proprio edificio; gli permise di aprire una bottega e lo onorò col titolo di suo meccanico. Esistono ancora alcuni strumenti di quell'epoca, di squisito lavoro, interamente eseguiti dalle mani di Watt.

Watt aveva appena raggiunto il suo ventunesimo anno, quando fu aggregato all'Università di Glasgow. Ebbe per protettori in quest'incontro il celebre Adamo Smith, l'autore della famosa opera sulla *Ricchezza delle nazioni;* Black, di cui abbiamo detto nel capitolo precedente, Roberto Simson, insigne geometra, ristauratore dei più importanti trattati dei geometri antichi Questi eminenti personaggi credevano dapprincipio di avere sottratto dagli artigli delle corporazioni d'arti e mestieri, un semplice operaio dotato di buone qualità; abile, attivo, morigerato, e nulla più; ma in breve riconobbero in lui un uomo di genio e gli accordarono

ta più sincera amicizia. Gli studenti dell'Università reputavansi felici quando potevano entrare in rapporti con Watt; la sua modesta bottega divenne in breve una specie di Accademia, nella quale convenivano gli uomini più eminenti della città per discutervi profonde questioni d'arte, di scienza, di letteratura. Un documento inedito del più illustre tra gli scrittori dell'*Enciclopedia britannica* ci fa conoscere qual parte prendesse in quelle riunioni di scienziati, il giovane operaio di ventun anni.

« Sebbene fossi ancora studente, pure, dice Robison, avevo la vanità di credermi già inoltrato nei miei studi prediletti di meccanica e di fisica, quando fui presentato a Watt, ma qual non fu il mio disinganno quando riconobbi che il giovane operaio mi superava d'assai.... Quando qualche difficoltà ci incagliava nei nostri studi universitari, di qualunque natura essa fosse, ci rivolgevamo immediatamente al nostro artista. Bastava provocarlo, ogni argomento era per lui il punto di partenza per studi profondi che producessero più scoperte. Egli non abbandonava mai un argomento senza aver prima chiarito, nel modo più ampio, il quesito propostogli; a seconda del caso ei lo riduceva a nulla o ne ricavava qualche conseguenza limpida ed importante. Un giorno, per la soluzione d'un problema, ei credette necessaria la lettura dell'opera di Leupold sulle macchine, scritta in tedesco: Watt si dedicò tosto allo studio di questa lingua, e se ne impadronì in breve. In altra circostanza e per motivo consimile ei si rese padrone dell'italiano. L'ingenua semplicità del giovane meccanico gli conciliava la benevolenza di quanti lo avvicinavano, devo dichiarare in proposito che sebbene io abbia bastantemente vissuto in mezzo alla società, pure mi sarebbe impossibile citare un secondo esempio d'amicizia sincera e generale, accordata a qualche persona di incontestata superiorità. E ben vero che questa superiorità era velata dal candore ed era congiunta a fermo proponimento di riconoscere liberamente i meriti di ciascuno. Watt compiacevasi persino nell'attribuire allo spirito inventivo dei suoi amici, cose che bene spesso erano d'idea sua, presentata sotto altra forma. Mi trovo tanto maggiormente in debito, soggiunge Robison, d'insistere su questa rara disposizione d'animo, inquantochè io stesso ne ho sperimentato gli effetti. »

Gli studi seri e svariati cui dedicavasi il nostro giovane artista non nuocevano punto ai suoi lavori manuali, ei dedicava a questi il giorno, a quelli la notte. Fidando nella fecondità della sua mente, Watt si cimentava a bella posta nelle imprese più difficili, quand'anche le sue disposizioni sembrassero del tutto opposte al buon esito di quelle imprese. Così ad esempio egli si assunse l'obbligo di costruire un organo e condusse a buon fine questo lavoro, sebbene fosse per natura del tutto insensibile al piacere della musica, sebbene non fosse mai riescito a distinguere due note, un *do* da un *fa*. Ma non basta, lo strumento costrutto da Watt non solo presentava importanti perfezionamenti nella parte meccanica, nei regolatori, nel modo di valutare la forza del vento, ma fu segnalato bensì anco per le sue qualità armoniche che furono altamente lodate dagli intelligenti di musica. Watt risolvette una parte importante del problema: raggiunse la *tempera*, stabilita da un uomo dell'arte, giovandosi del fenomeno delle vibrazioni, fino allora mal conosciuto, e del quale ei potè acquistare qualche nozione in un'opera profonda ma oscura assai, del dottore Roberto Smith di Cambridge.

XIV.

Watt riesce a far andare l'imperfetto modello della macchina di Newcomen, posseduto dall'Università di Glasgow, coglie la propizia occasione per studiar quella macchina, ne riconosce i vizi principali ed inventa il *condensatore isolato* — Matrimonio di Watt — La pompa ad aria. — La *macchina* di Watt *a semplice effetto*.

La collezione di macchine dell'Università di Glasgow racchiudeva un piccolo modello di macchina di Newcomen: nessuno era mai riescito a farlo funzionare

a dovere. Il professore di fisica, Anderson, affidò a Watt, nell'inverno del 1763, l'incarico di riparare quel modello. Fu questa la circostanza che condusse Watt ad occuparsi per la prima volta della macchina a vapore, nella quale, novello Cristoforo Colombo, ei doveva scoprire un intiero mondo.

I vizi di costruzione che impedivano a quel modello di funzionare in modo soddisfacente scomparvero ben presto, sotto la mano dell'abile artista. Quel modello presentava una notevole sproporzione fra le dimensioni del cilindro e quelle della caldaia. La caldaia era troppo piccola rispetto al cilindro e quindi non bastava a produrre tutto il vapore necessario a provocare il movimento dello stantuffo. Watt raccorciò il cilindro ed il modello funzionò regolarmente. Da allora in poi quel modello comparve annualmente, nell'anfiteatro di fisica, sotto gli occhi degli attoniti studenti. Un uomo volgare sarebbe rimesto pago di questo risultato. Watt all'incontro, seguendo la sua abitudine approfittò dell'occasione per darsi a studi più profondi. Le sue ricerche si rivolsero successivamente su tutti i punti dai quali ei lusingavasi ricavar qualche lume sulla teoria della macchina di Newcomen; determinò sperimentalmente di quanto si dilata l'acqua passando dallo stato liquido allo stato aeriforme (vapore); la quantità d'acqua che, con un dato peso di carbone, può essere trasformata in vapore; la quantità di vapore (in peso) consumate ad ogni oscillazione dello stantuffo in una macchina di Newcomen di determinate dimensioni; la quantità d'acqua fredda che devesi introdurre nel cilindro di quella macchina, per provocare l'oscillazione discendente dello stantuffo; finalmente, siccome la forza elastica del vapore cresce al crescere della tempe-

ratura, così ei cercò di determinare la varia forza elastica del vapor acqueo corrispondente ai vari gradi di temperatura. Questi importanti elementi determinati da Watt coi mezzi imperfetti di cui egli poteva disporre, diversificano di ben poco da quelli posteriormente ottenuti con le esperienze istituite dai fisici moderni con tutta la precisione ed il rigore dei metodi attuali.

In queste ricerche fu di gran giovamento al nostro inventore l'amicizia che gli accordava il fisico Black. Questi espose a Watt la teoria del calore latente che valse a rendergli conto della enorme quantità d'acqua fredda che dev'essere introdotta nel cilindro della macchina di Newcomen per condensarvi il vapore, e della considerevole quantità di calorico che quell'acqua sottrae al poco vapore contenuto nel cilindro.

Tutte queste ricerche avrebbero assorbito ad ogni altro l'intiera giornata; Watt, mercè la straordinaria sua attività, potè condurle a buon porto senza punto trascurare i lavori della sua officina meccanica.

La macchina di Newcomen esige due condizioni inconciliabili: la capacità inferiore del cilindro deve, durante la discesa dello stantuffo, mantenersi a bassa temperatura, poichè altrimenti vi rimarrebbe ancora del vapore dotato di forza elastica non trascurabile, questo vapore renderebbe lenta la discesa dello stantuffo, contrastando l'azione della pressione atmosferica, e diminuirebbe quindi la potenza della macchina. Ma subito dopo, quando il vapore — alla temperatura di cento gradi — che deve sollevare lo stantuffo, penetra in quel cilindro, le pareti del cilindro sono ancor fredde ed il vapore che viene a contatto con esse deve parzialmente condensarsi perdendo — per conseguenza — parte della sua forza elastica; altra

causa di lentezza nell'andamento della macchina, poichè il contrappeso non può sollevare lo stantuffo fino a che il cilindro non è premuto dal sotto in su con una forza pari a quella che in direzione opposta è esercitata, dall'alto al basso, dalla pressione atmosferica, sulla faccia superiore dello stantuffo Questa circostanza corrisponde ad un aumento di spesa, poichè, evidentemente, convien consumare una quantità di vapore ben più rilevante di quella che basterebbe se le pareti del cilindro fossero mantenute ad alta temperatura; e il maggior consumo di vapore, in fin dei conti, si traduce in aumento di spesa. Vi persuaderete dell'importanza di questa condizione economica, udendo che il modello posseduto dall'Università di Glasgow, caduto nelle

Fig. 20 WATT STUDIA I PERFEZIONAMENTI

mani di Watt, consumava ad ogni oscillazione dello stantuffo, un volume di vapore — dotato della tensione atmosferica — quadruplo della capacità del cilindro.

...SORBE NELLA MACCHINA DI NEWCOMEN.

La spesa di vapore, o, ciò che torna lo stesso, la spesa di combustibile, o, se meglio vi piace, la spesa pecuniaria indispensabile per mantenere la macchina in movimento, sarebbe diminuita certamente qualora fosse stato possibile far scomparire la necessità dell' alternativo riscaldamento e raffreddamento del cilindro.

Questo problema, a primo aspetto insolubile, venne risolto da Watt in modo semplicissimo, come diremo fra breve.

Per dedicarsi completamente allo studio della macchina a vapore, Watt avrebbe dovuto poter rinunciare ai proventi del suo laboratorio meccanico, ma

fatalmente la posizione finanziaria della sua famiglia, ridotta quasi alla miseria da replicati rovesci di fortuna, non solo non gli permetteva di chiudere il negozio, ma gli imponeva anzi gravi oneri. Tuttavia una felice circostanza favorì i suoi proponimenti. L'unica distrazione che Watt si dava settimanalmente, era una gita domenicale in un casino di campagna, posto nelle vicinanze di Glasgow, abitato nella bella stagione da un suo zio Miller. Lo zio aveva una figlia di diciott'anni, bella, colta ed amabile; Watt se ne invaghì, ne chiese la mano e la sposò nel 1764.

Quest'unione gli assicurò qualche agiatezza, gli permise di chiudere il piccolo laboratorio e di stabilirsi nell'interno della città per esercitarvi la professione d'ingegnere civile, ed occuparsi con maggior agio delle sue ricerche.

Le belle doti della sua sposa ebbero felicissima influenza sulla carriera di Watt. Sebbene dotato in sommo grado del genio per la meccanica, pure egli era di carattere indolente, aveva bisogno di quel dolce e segreto impero che esercita il cuore d'una donna amata per risvegliare e tener desto il suo genio.

Quest'influenza non tardò molto a manifestarsi; un anno dopo il matrimonio, nel 1765, Watt diede corpo finalmente alle idee che già da tempo gli passavano per la mente; effettuò, cioè, la prima e la più importante delle sue invenzioni, quella del *condensatore isolato*

Abbiam veduto che il vizio capitale della macchina di Newcomen consiste nella necessità di raffreddare e riscaldare alternatamente il cilindro per operarvi la condensazione del vapore, e che questo raffreddamento del cilindro — ottenuto con l'iniezione d'acqua fredda — fa perdere l'effetto utile di grandissima parte,

circa tre quarti, del combustibile impiegato. Il problema, considerato fino allora come insolubile da tutti gl'ingegneri, di condensare il vapore senza raffreddare il cilindro, fu risolto completamente mercè la felice idea venuta in mente a Watt, di condensare il vapore in un vaso separato, comunicente col cilindro per mezzo d'uno stretto tubo munito di robinetto. L'adozione di questo vaso separato, che oggi porta il nome di *condensatore*, è la principale invenzione di Watt.

Si comprenderà facilmente l'importanza di questa invenzione considerando l'influenza del condensatore.

Se esiste una libera comunicazione fra un cilindro ripieno di vapore ed un vaso vuoto d'aria e di vapore, buona parte del vapore contenuto nel cilindro passerà assai rapidamente nel vaso vuoto, in virtù della natural tendenza del vapore ad espandersi, questo passaggio cesserà solo allorquando il vapore si sarà dilatato in modo da possedere la stessa forza elastica così nel cilindro come nel vaso che gli sta accanto. Supponiamo ora che mercè un abbondante e continuo getto d'acqua fredda, il vaso in discorso sia mantenuto a bassa temperatura, allora il vapore vi si condenserà al suo entrarvi: tutto il vapore che dapprima era contenuto nel cilindro, andrà successivamente a condensarsi in quel vaso; per tal guisa il cilindro rimarrà purgato dal vapore, senza che le sue pareti abbiano subito il più lieve raffreddamento; il nuovo vapore, che si volesse farvi entrare non perderà per conseguenza neppure la più piccola parte della sua forza elastica.

Il *condensatore* chiama a sè il vapore dal cilindro, per due ragioni: perchè in parte è ripieno d'acqua fredda e perchè il resto della sua capacità non contiene fluidi elastici; ma non appena si è verificata

una prima condensazione, scompaiono entrambe queste due propizie condizioni: l'acqua che ha servito alla condensazione si è riscaldata a spese del vapore condensato (poichè, come abbiam detto, la condensazione del vapore produca svolgimento di calorico) ed una notevole quantità di vapore si è svolta dall'acqua così riscaldata. Da ciò ne viene che se, dopo ogni oscillazione dello stantuffo, non si sottraessero l'acqua riscaldata ed il vapore da essa sviluppato, il condensatore non produrrebbe più il suo effetto. Watt rimediò a questo nuovo inconveniente ricorrendo ad un'ordinaria pompa aspirante che, in tal caso, è detta *pompa ad aria*, allo stantuffo della quale è applicato un gambo, convenientemente congiunto al bilancere messo in movimento dalla macchina. È ben vero che tutta la forza spesa a mantenere in movimento la pompa ad aria va naturalmente in diminuzione della forza della macchina, ma tuttavia c'è tutta la convenienza, poichè la perdita di forza risultante dall'adozione della pompa ad aria è di gran lunga minore della perdita di forza a cui conveniva sottostare nella macchina di Newcomen, ove il vapore destinato ad equilibrare la pressione atmosferica, si condensava in gran parte venendo a contatto con le fredde pareti del cilindro.

Con l'aggiunta del condensatore isolato, Watt introdusse una modificazione sostanziale nella macchina di Newcomen: ottenne l'economia di più della metà nella spesa del combustibile. Ma la macchina così riformata si fondava ancora sullo stesso principio. Era pur sempre la *macchina atmosferica* in cui la forza motrice è il peso dell'aria gravitante sulla faccia superiore dello stantuffo; il cilindro è aperto superiormente per lasciar entrare quest'aria, che al progressivo abbassarsi dello stantuffo si trova gradata-

mente a contatto con le pareti interne del cilindro. Queste sono naturalmente mantenute, dal vapor acqueo, a temperatura ben più alta della temperatura dell'aria atmosferica; perciò il contatto di questa con le pareti interne del cilindro determina un'abbassamento nella temperatura di queste pareti; quando il vapore rientra nel cilindro per sollevarvi lo stantuffo, parte di questo vapore deve condensarsi pel contatto con le pareti del cilindro raffreddate dall'aria atmosferica Watt superò anche questo ostacolo cangiando radicalmente il principio motore della macchina a vapore. Egli escluse completamente l'intervento della pressione atmosferica e fece dipendere l'azione della nuova macchina esclusivamente dalla forza elastica del vapore.

L'unita figura 22 ci permetterà di spiegarvi in qual modo Watt potè nella sua nuova macchina, detta perciò *macchina modificata* di Watt od anche *macchina a semplice effetto*, rinunciare all'intervento della pressione atmosferica.

Il cilindro B, chiuso inferiormente da un fondo massiccio, è chiuso superiormente da un coperchio metallico, forato nel mezzo; traverso questo foro passa il gambo d'uno stantuffo A. Per impedire che il vapor acqueo, che, come vedremo fra breve, riempie tutto il cilindro, possa sfuggire traverso la sottil fessura circolare che necessariamente deve rimanere fra il perimetro del foro ed il perimetro del gambo, si circonda il foro con stoppa spalmata d'unto, che pur permettendo al gambo di scorrere su e giù, impedisce tuttavia la più lieve *fuga di vapore*. Dicesi allora che quel foro è chiuso a *tenuta di vapore*. Anche lo stantuffo A è applicato a tenuta di vapore contro le pareti del cilindro: esso è costrutto in guisa da non permettere il più lieve passaggio di vapore dalla capacità inferiore alla capacità superiore del cilindro o viceversa. Un tubo E, comunicante con la caldaia, conduce il vapore dalla caldaia alla capacità superiore del cilindro nella quale penetra traversando il condotto C, purchè la *val-*

vola d'ammissione G sia aperta e la *valvola d'equilibrio* H sia chiusa. Questo vapore, tendendo per sua natura ad espandersi, preme tanto le pareti interne della capacità superiore del cilindro, quanto la faccia inferiore del coperchio, quanto ancora la faccia superiore dello stantuffo A. Se la macchina è solidamente costrutta, nè le pareti nè il coperchio possono cedere alla pressione del vapore, ma lo stantuffo che è libero di salire e scendere, cede a quella pressione e si abbassa, senza incontrare alcun ostacolo poichè durante tutta la discesa dello stantuffo, il vapore — che precedentemente occupava la capacità inferiore del cilindro — si scarica tutto nel condensatore, passando (pel condotto inferiore C) nel tubo F, comunicante direttamente col condensatore; la *valvola d'uscita* K, rimane aperta durante tutto questo periodo. Questa comunicazione della capacità inferiore del cilindro col condensatore produce il vuoto in detta capacità. Giunto che sia lo stantuffo al punto più basso del cilindro, si chiudono la valvola G e K e si apre la valvola d'equilibrio H; per tal guisa si stabilisce una comunicazione fra la capacità superiore e la capacità inferiore, appena il vapore trova aperto un varco, si espande, occupa tutto lo spazio compreso fra le due valvole G e K — che, lo rammentiamo, sono ora mantenute chiuse — e penetra anche nella capacità inferiore del cilindro. Lo stantuffo che, fino ad ora, era premuto dal vapore soltanto sulla faccia superiore, trovasi ora premuto

Fig. 22. INTERNO DEL CILINDRO E STANTUFFO MOTORE NELLA MACCHINA DI WATT AD EFFETTO SEMPLICE

anche sulla faccia inferiore, queste due pressioni si equilibrano perfettamente; a per far risalire lo stantuffo si ha da vincere il suo peso soltanto. Ecco dunque che per far risalire lo stantuffo basterà, come nella macchina di Newcomen, collegare il gambo dello stantuffo all'estremità di un bilancere, munito di contrappeso all'altra estremità e così lo stantuffo ritorna al punto più alto del cilindro.

Riesce agevole il comprendere che aprendo ora le due valvole G e K e chiudendo la valvola intermedia H il vapore affluirà di bel nuovo dalla caldaia nella capacità superiore del cilindro; la valvola K, mantenuta aperta, lascia passare il vapore dalla capacità inferiore del cilindro nel condensatore. In tale stato di cose, la forza elastica del vapore giunto, dalla caldaia, nella capacità superiore del cilindro, premerà di bel nuovo la faccia superiore dello stantuffo e lo obbligherà a discendere fino al fondo del cilindro. Ristabilendo allora la comunicazione fra la capacità superiore e la capacità inferiore del cilindro — scopo che si raggiunge aprendo la valvola intermedia H — impedendo in pari tempo l'accesso di nuovo vapore dalla caldaia e lo scarico del vapore dal cilindro nel condensatore — il che si ottiene chiudendo le valvole G e K — lo stantuffo si troverà di bel nuovo premuto tanto sulla faccia superiore quanto sulla faccia inferiore e risalirà pel solo effetto del contrappeso applicato al bilancere. Aprendo e chiudendo opportunamente le tre valvole G, H e K si imprime un movimento continuo di va e vieni allo stantuffo e quindi al gambo che lo sormonta. Questo movimento, che dicesi *rettilineo alternativo*, può essere agevolmente trasformato, come vedremo fra breve, in qualsiasi altra specie di movimento e può quindi essere impiegato in mille modi nella meccanica.

XV.

Superiorità della macchina di Watt su quella di Newcomen — I nemici naturali di ogni invenzione. — Associazione di Watt col dottor Roebuck. — Generosità di Watt. — Suoi lavori del tutto estranei alla macchina a vapore. — Associazione di Watt e Bulton. — Lo stabilimento di Soho. — I due soci chiedono soltanto un terzo del combustibile economizzato ed ottengono vistosi benefici. — Il pubblico ed i *fabbricatori di idee*. — Formidabile opposizione mossa ai due soci, vinta dalla tenacità e dalle buone ragioni di Watt.

Grazie al nuovo ed ingegnoso impiego della forza elastica del vapore acqueo, descritto nel precedente capitolo, Watt creò — si può ben dirlo — la vera macchina a vapore. La macchina di Newcomen non merita questo nome, ma quello soltanto di *macchina atmosferica*, poichè essa deve la sua forza alla pressione atmosferica, non già alla forza elastica del vapore che serve soltanto, lo ripetiamo, a praticare il vuoto nella capacità inferiore del cilindro. Alla macchina atmosferica sorta dalle scoperte di Torricelli, di Pascal e d'Ottone di Guericke, e che il genio di Papin e la sagacità di Newcomen avevano tradotte in pratica, Watt sostituiva una macchina di gran lunga superiore nell'intensità dei suoi effetti, che traeva tutta la sua forza dal solo vapore acqueo. I vantaggi, la forza e l'economia di questo nuovo motore, superavano di gran lunga ogni speranza. Il lettore s'imaginerà quindi che appena conosciuta la macchina di Watt, essa sia stata ovunque sostituita alla macchina di Newcomen — relativamente ben più dispendiosa — che era già molto diffusa nei distretti carboniferi d'Inghilterra, pel sollevamento delle acque dal fondo delle

miniere. Tutt'altro. Un inventore ha sempre, per naturali nemici, tutti coloro che temono di essere più o meno danneggiati dalla nuova invenzione, gli ostinati fautori delle cose già vecchie, ed infine gli invidiosi. Queste tre classi riunite, convien pur confessarlo, formano la gran maggioranza del pubblico. Questa compatta falange d'oppositori può esser vinta soltanto dal tempo, che riesce a scomporla e, a lungo andare, anche a sperderla completamente. Volendo affrettare il risultato bisogna combatterla accanitamente, combatterla senza tregua, in tutti i modi possibili. — L'energia di carattere, la fermezza di volontà necessaria a sbrogliare gl'intrighi per quanto abilmente sieno orditi, può benissimo mancare al genio creatore. Watt ne fu una prova delle più convincenti. La sua invenzione fondamentale, la sua felice idea di condensare il vapor acqueo in un vaso completamente separato dal cilindro in cui si esercita l'azione meccanica del vapore, data del 1765. Trascorsero due lunghi anni durante i quali Watt fece appena qualche timido passo per applicarla in grande scala, per trasportarla nella pratica industriale. Sarebbero stati necessarii vistosi capitali, Watt non ne aveva e non aveva neppure le qualità necessarie a far comprendere ai capitalisti — generalmente poco propensi ad avventurarsi nell'ignoto — tutta l'importanza d'un'invenzione. Watt detestava quelle promesse esagerate che molti inventori usano lanciare ai quattro venti per allettare i capitalisti. Ci volle tutta l'energia degli uomini insigni — da noi già nominati — di cui Watt aveva saputo cattivarsi l'amicizia, per vincere la sua ripugnanza a mettersi in rapporti con un grande industriale, il dottor Roebuck, fondatore della celebre officina di Carron. Costui trovavasi, appunto allora, ingolfato in grandiose

imprese per l'esercizio delle miniere di carbon fossile e delle saline di Borrowstones. Ei comprende tosto tutta l'importanza dell'invenzione di Watt. L'inventore e l'uomo d'affari stringono società; questi pone i suoi capitali a disposizione di quello, ottenendo in compenso i due terzi dei futuri utili che sarebbero ridondati dal brevetto di privativa già procuratosi da Watt per guarentirsi la proprietà della sua invenzione.

Watt pone tosto mano alla costruzione della sua macchina che in breve è terminata e funziona alla bocca d'un pozzo di miniera — nelle vicinanze di Borrowstones — estraendo l'acqua, sorgente nel fondo di quella miniera di carbon fossile. La nuova macchina conferma tutte le previsioni di Watt, il buon esito sembra ormai definitivamente assicurato. Ma sul più bello, la fortuna di Roebuck — causa l'infelice riuscita di alcune sue imprese — è talmente scossa che Watt comprende dover rinunciare alla sua cara idea di fondare un grande stabilimento per la fabbricazione di macchine a vapore. Watt, che pur vantava grossi crediti dal suo socio, ebbe la generosità di rompere l'associazione e di liberarlo da ogni impegno. Watt avrebbe potuto rivolgersi in cerca d'altro capitalista, ma preferì rinunciare alla sua invenzione e cangiar carriera. — Si dedicò ai lavori d'ingegnere d'acque e strade. Nel 1767 Watt livellava e triangolava il terreno fra i fiumi Forth e Clyde per la scelta del tracciato più conveniente per un canale destinato a congiungere quei due fiumi. Di lì a poco, tracciò il piano d'un canale destinato a portare a Glasgow il carbone delle miniere di Monkland e ne diresse, lui stesso, i lavori. Elaborò altri progetti consimili, fra cui, quello d'un canale navigabile attraverso all'istmo di Crinan; si occupò profondamente

degli studii relativi al miglioramento dei porti di Ayr, di Glasgow e di Greenock; costruì i ponti di Hamilton e di Rutberglen; esplorò i terreni traverso i quali doveva passare il celebre canale Caledonio. Questi lavori occuparono Watt fino al cadere del 1773. Senza attenuar per nulla il merito di questi lavori, è permesso tuttavia — dice Arago — non attribuire ad essi una straordinaria importanza ed affermare che per concepirli, dirigerli ed eseguirli, non era certo necessario un genio della forza di Watt.

L'inventore d'una macchina destinata a far epoca negli annali dell'umanità subì per ben otto anni, senza far sentire un lagno, l'alterigia e lo sprezzo dei capitalisti; per quel lungo periodo di tempo egli applicò il suo genio a levar piani, a livellare terreni, ad eseguire i lunghi e noiosi calcoli degli sterri e dei riporti, a cubare murature.

A quel tempo Watt fu colpito da grave sciagura, che contribuì ancor più a sviarlo dai grandi progetti che l'avevano per breve tempo sedotto. Mentre trovavasi, pei suoi lavori, nel nord della Scozia, ebbe il dolore di perdere la sua dolce, la sua tenera compagna. Completamente immerso nel dolore, Watt non pensava più ai suoi primi lavori; sembrava aver dimenticato che nelle sue mani stava la futura ricchezza del suo paese. Per buona sorte, i suoi amici non lo dimenticavano.

Questi riuscirono finalmente, sul principio del 1774, a trionfare sulla sua ripugnanza e lo misero in relazione con un celebre industriale, Matteo Bulton di Birmingham.

Bulton possedeva il genio dell'industria forse allo stesso grado che Watt possedeva il genio della meccanica. Era egli reputato il più ricco, il più abile ed il

più intraprendente manifatturiere d'Inghilterra. Lo stabilimento da lui fondato pochi anni prima a Soho, in vicinanza di Birmingham, per la fabbricazione d'ogni genere di lavori in ferro, acciaio ed argenteria, era fra i più importanti e meglio ordinati di tutto il Regno. Avuto appena sentore delle modificazioni introdotte, nella macchina a vapore, dall'ingegnere di Glasgow, ne intravvide tutto l'avvenire e non esitò a mettere l'intera sua sostanza a disposizione dell' inventore. Strinse con Watt un contratto di società, e fece costruire immediatamente una prima macchina in grandi proporzioni, cui impiantò nella sua officina di Soho, affinchè il pubblico potesse apprezzarne i pregi coi proprii occhi.

Fig 23. INTERNO DELL'OFFICINA

Ma il brevetto ottenuto da Watt nel 1769 spirava

di lì a pochi anni. Per prolungarlo convenne rivolgersi al Parlamento. Mercè il credito e l'attività di Bulton

I SUL CADERE DEL XVIII SECOLO.

si ebbe dal Parlamento, non senza molte difficoltà (1) la prolungazione del privilegio.

Contrariamente alle disposizioni allora in vigore pei brevetti, Bulton e Watt ottennero nel 1775 un nuovo privilegio durevole venticinque anni « in vista del merito eminente delle invenzioni dell'autore » attestato dai più autorevoli scienziati di Londra. I due soci poterono allora lanciarsi arditamente nella brillante carriera che si schiudeva dinanzi a loro.

(1) « Per condurre a buon porto quell'affare, scriveva il celebre meccanico al suo vecchio padre, ci vollero non poche spese, non poche inquietudini. Non saremmo certo riesciti senza l'aiuto di alcuni amici zelanti, poichè molti fra i più potenti personaggi della Camera dei Comuni ci erano sfavorevoli ».

Per la diversa natura del loro carattere e del loro ingegno Bulton e Watt sembravano essere stati creati espressamente, ciascuno per la sua parte, allo scopo di condurre a bene un'impresa di questo genere. Watt era riservato, studioso, e fuggiva il mondo; Bulton invece, uomo attivo, intelligente, sempre in moto, frequentatore dell'alta società e da essa ben accolto, benchè fosse nemico dei complimenti. Eppure con indole così varia, non si videro mai due uomini andar sempre e sì perfettamente d'accordo come Bulton e Watt; sicchè i loro nomi sono inseparabili nell'immortalità (1).

Ottenuto il brevetto, Bulton convertì parte del suo stabilimento di Soho in officina destinata alla fabbricazione delle macchine a vapore. Con autentiche sperienze eseguite in presenza di proprietarii ed azionisti di miniere, egli dimostrò la notevole economia che si otteneva dalla nuova pompa a fuoco allora installata a Soho. Si riconobbe che, a pari effetto, essa riduceva di tre quarti la spesa del combustibile richiesto dalla macchina di Newcomen. In breve, mercè il sistema stabilito da Bulton per l'esecuzione dei singoli organi meccanici, furono in pronto parecchie macchine a vapore destinate all'asciugamento delle miniere.

Allora si vide in Inghilterra un fenomeno industriale che forse non si rinnoverà mai più, fenomeno che

(1) Nelle note con cui accompagnò un saggio del professore Robison, intorno alla macchina a vapore, Watt si espresse nei seguenti termini, parlando di Bulton: « L'amicizia ch'ei mi accordava finì colla sua vita. Quella ch'io gli portava mi impone l'obbligo di cogliere quest'occasione» forse l'ultima che mi si presenta, per dire tutto il bene ch'io gli devo. Agli affettuosi incoraggiamenti di Bulton, al suo amore per le scoperte scientifiche, alla sua attitudine a rivolgerle al progresso delle arti, non meno che alla sua profonda cognizione degli affari manifatturieri e commerciali, attribuisco in gran parte il buon esito che coronò i miei sforzi..

onorava egualmente l'audacia dello speculatore ed il genio del meccanico. Bulton e Watt non vendevano le loro macchine, le davano a chi voleva prenderle, si incaricavano anzi di impiantarle e di mantenerle a loro spese, e per giunta acquistavano le vecchie macchine di Newcomen a prezzo ben superiore al loro valore.

Bulton esborsò in questa guisa sino a 47,000 lire sterline (1,175,000 lire italiane) prima di averne incassata neppur una! Egli reclamava dai proprietarii di miniere soltanto *il terzo della somma annualmente economizzata sul combustibile.*

In faccia a simili condizioni, non c'era da esitare pei proprietarii di miniere. Le macchine di Watt incominciarono ad essere adottate in molte miniere di Cornovaglia, di là si diffusero nella maggior parte delle contee carbonifere d'Inghilterra ed i due soci incominciarono a lucrare grossissimi benefici

In fatti l'ardita combinazione ideata da Bulton era stata, altrettanto abile quanto generosa. Le macchine, che parevano regalate, finivano col costare somme esorbitanti. Vi basti questo esempio: Nelle miniere di Chacewater ove funzionavano tre pompe animate da altrettante macchine di Watt, i proprietarii trovarono il loro tornaconto a riscattarsi dai diritti spettanti a Bulton e Watt pagando ad essi un canone annuale di 60,000 lire italiane. In quel solo stabilimento, la sostituzione del *condensatore* all'iniezione interna aveva procurata un'economia di combustibile superiore alle 180,000 lire italiane.

Gli uomini, osserva Arago nella citata biografia che forma la base di questi capitoli, pagano senza aprir bocca l'affitto d'una casa, il prezzo d'una possessione; ma perdono la loro buona volontà quando si tratta d'un'idea, per quanti vantaggi, per quanti benefici si possano ricavarne. Per

un'idea! Le idee si concepiscono forse senza fatiche, senza stenti? E d'altronde — dice il pubblico — chi potrebbe provare che coll'andar del tempo non sarebbero venute in mente a chiunque? Alcuni giorni, alcuni mesi, anche anni di precedenza non potrebbero giustificare un privilegio!

Queste opinioni, erano ancora accreditatissime nello scorso secolo. Gli uomini di genio, i *fabbricatori di idee* sembrava fossero condannati a rimanere estranei ai godimenti materiali; era naturalissimo che la loro storia continuasse a rassomigliare ad una leggenda di martiri!

I proprietari di miniere che da principio avevano accolta con riconoscenza codesta combinazione, non vollero rassegnarsi lungo tempo a vedere i soci intascare benefici tanto rilevanti. Cresceva ogni giorno la ripugnanza dei proprietarii a soddisfare ai loro obblighi, e ben presto numerosi processi minacciarono seriamente le sorti dell'impresa di Bulton e Watt.

Chi si appoggiava su pretesi perfezionamenti introdotti negli apparecchi di Watt allo scopo di liberarsi da ogni diritto di privativa; chi rovistava le biblioteche per scoprirvi titoli di priorità contro di lui e poter così domandare l'annullamento dei suoi brevetti.

L'argomento massimo consisteva nel pretendere che Watt era già stato ricompensato sufficientemente delle sue fatiche, e poi che in fin dei conti non aveva inventato che delle idee. Quest'argomento fece dire ad un avvocato che perorava la causa di Walt dinanzi ai tribunali: « Andate, signori, andate pure a toccare queste pretese idee astratte, queste combinazioni intangibili, come a voi piace chiamare le nostre macchine; esse vi schiacceranno come mosche, vi sbalzeranno nell'aria a distanze prodigiose. »

Tuttavia l'imperfezione che a quel tempo presentava la legge inglese sui brevetti, lasciava largo adito alla mala fede ed alla frode. Regnavano inoltre nel-

l'animo dei giudici molte prevenzioni e molta sfiducia contro i brevettati. Le Loro Signorie spiegavano uno zelo ed un ardore instancabili per scoprire vizii di forma nei brevetti di Watt e per rintracciare nel testo d'antiche leggi, disposizioni contrarie al suo privilegio.

Ciò spiega come ad onta dell'evidenza dei loro diritti, Watt e Bulton furono vinti in corte di giustizia.

Questa sconfitta era grave: essa raddoppiò l'audacia e le pretese dei plagiarii. Capitalisti che non avrebbero osato trasgredire a faccia aperta ai brevetti di Watt, incoraggiati da questo primo risultato, si adoperavano attivamente a far rilasciare ad uomini senza credito nuovi brevetti contenenti qualche modificazione insignificante; e poi, armati di questi documenti sospetti, andavano dinanzi ai tribunali a battere in breccia le pretese dei soci.

Queste difficoltà che rinnovavansi tutti i giorni e ognora più 'si complicavano, avrebbero sconcertato chicchessia, ma non Watt che, durante la sua vita, avea combattute lotte ben più aspre e n'era sempre uscito vincitore. Egli non indietreggiò in faccia ai suoi avversarii. Decise d'abbandonare per qualche tempo la sorveglianza della sua officina e si recò a Londra a perorarvi la propria causa. Per otto anni di seguito, il genio del grande meccanico fu deviato dalla sua strada naturale e nel frattempo ebbe campo di farsi perfetto legista.

Il buon esito coronò finalmente i suoi sforzi; ma ben tardi. Solo nel 1799, trentacinque anni dopo le sue prime invenzioni, i tribunali gli resero ragione, rimettendolo definitivamente nel pieno possesso del suo privilegio; e siccome questo privilegio spirava entro un anno, così il trionfo della vittoria riportata in faccia

ai tribunali era quasi derisorio. Il che gli faceva dire pacatamente, che era ben lieto di abitare un paese dove bastavano 35 anni di discussione ed una dozzina di processi per assicurare ad un onesto cittadino la ricompensa del suo lavoro.

Intanto, verso il 1796, stanco delle lunghe noie derivanti dalle contestazioni giudiziarie, Watt era ritornato ai suoi consueti lavori; e da allora in poi si dedicò esclusivamente alla soluzione del problema fondamentale che già da gran tempo attraversava la sua mente.

Fin allora la macchina a vapore aveva servito unicamente all'innalzamento dell'acqua dal fondo delle miniere; Watt voleva trasformare la potenza di cui erasi impossessato, in motore atto a ricevere tutte le applicazioni che possonsi richiedere dall'industria. Egli che aveva creata la *pompa a fuoco* voleva creare anche un motore universale. Il suo genio risolvette questo grande problema nel modo più assoluto, tanto nel principio generale quanto nei più delicati particolari, mercè una serie di invenzioni di cui andremo esponendo gli elementi nel seguente capitolo.

XVI.

INVENZIONE FINALE DELLA MACCHINA A VAPORE.

Macchina di Watt a doppio effetto — Il parallelogramma semplice ed il parallelogramma articolato — Trasformazione del moto rettilineo alternativo dello stantuffo in moto circolare continuo. — La manovella, la biella ed il volante. — La legge d'inerzia — Necessità di regolare automaticamente l'azione della macchina a vapore, il regolatore a forza centrifuga — Orologio mosso da una macchina a vapore. — Rapida diffusione delle macchine a vapore.

Abbiam veduto che nella *macchina ad effetto semplice*, ove Watt sostituiva alla pressione atmosferica la sola potenza del vapore, l'azione motrice si eser-

cita realmente solo durante la discesa dello stantuffo. L'oscillazione ascendente è prodotta dal contrappeso attaccato el bilancere; poichè basta la discesa del contrappeso a far risalire lo stantuffo, quando la pressione del vapore è diventata eguale sulle due facce dello stantuffo. Questa macchina agiva dunque intermittentemente; inconveniente di nessuna importanza finchè si trattava d'innalzare le acque, ma che diventava gravissimo ed intollerabile volendo applicare la macchina a vapore a tutti gli usi industriali. Il lavoro uniforme e continuo delle manifatture esige che la forza motrice possa esercitarsi in egual modo, tanto nella salita quanto nella discesa dello stantuffo motore. Era quindi necessario ottenere questa continuità d'effetto anche dalla macchina a vapore.

Watt conseguì quest'importante risultato nel seguente modo. Anzichè limitarsi a far agire il vapore, proveniente dalla caldaia, soltanto sulla faccia superiore dello stantuffo, ei diresse il vapore alternatamente al disopra ed al disotto dello stantuffo ottenendone così tanto la salita quanto la discesa mercè il solo vapore. Egli stabilì le comunicazioni necessarie fra il cilindro ed il condensatore, applicò opportunamente dei robinetti, che la macchina stessa apre o chiude a seconda del caso, in modo che il vapore contenuto nella capacità superiore del cilindro passa nel condensatore, nel momento in cui lo stantuffo giunge al termine della discesa. Da quest'istante in poi rimane aperto un robinetto che permette al vapore, proveniente dalla caldaia, di giungere al disotto dello stantuffo, questi si solleva non incontrando alcuna resistenza, poichè il vapore che prima trovavasi al disopra dello stantuffo è passato nel condensatore, lasciando vuota la capacità superiore del cilindro. Al

giungere dello stantuffo al punto più alto della sua corsa, il vapore che trovasi sotto di esso (nella capacità inferiore del cilindro) passa nel condensatore, e nuovo vapore affluisce dalla caldaia nella capacità superiore del cilindro. Si imprime così allo stantuffo un movimento continuo ed utile tanto nella sua salita quanto nella sua discesa.

Questa nuova disposizione del meccanismo rese perfetta la macchina a vapore. Gli enormi contrappesi ch'eransi fin allora adoperati per equilibrare lo stantuffo, divennero inutili, e per la prima volta si potè sbarazzare, la macchina a vapore, dalle masse pesanti che formavano il bilancere di Newcomen. Si poterono egualmente far scomparire le considerevoli quantità di ferro e di legno che venivano impiegate per raddolcire gli effetti dell'urto inevitabile, prodotto dai movimenti alternati, di ascesa e discesa del contrappeso.

La *macchina a doppio effetto*, com'essa venne denominata, eseguisce in uno stesso tempo, un lavoro doppio della macchina ad effetto semplice, ma consuma doppia quantità di vapore. Tutto il vantaggio sta dunque nella più rapida successione dei suoi effetti, circostanza utilissima per macchina destinata a servire come motore d'applicazione generale.

Onde trar partito dalla forza motrice sviluppata dalla macchina a vapore così modificata, era indispensabile ritrovare un nuovo mezzo di trasmettere al bilanciere il movimento dello stantuffo. Ed in fatto, riesce facile comprendere, che il mezzo impiegato nella macchina di Newcomen, in cui il vapore imprime allo stantuffo motore solo un impulso dall'alto al basso, non può applicarsi alla macchina a doppio effetto nella quale il vapore imprime un impulso tanto

dall'alto al basso quanto dal basso all'alto. Nella macchina di Newcomen, due catene fissate alle sue due estremità bastano a mettere in movimento il bilancere, come s'è visto nella fig. 17 a pag. 83. Nell'oscillazione discendente lo stantuffo tira a sè il bilancere mercè la catena; nell'oscillazione ascendente il solo contrappeso, per mezzo dell'altra catena, fa risalire lo stantuffo. Ma nella mecchina a doppio effetto, il contrappeso non c'entra per nulla; è le sola pressione del vapore che produce l'alternata ascesa e discesa dello stantuffo. Bisognava dunque imaginare un altro mezzo per comunicare al bilancero i due movimenti di ascesa e discesa; bisognava a tale scopo far coincidere il movimento dell'estremità del bilancere, che descrive un arco di cerchio, col movimento rettilineo di va e vieni del gambo dello stantuffo.

Nelle prime sue macchine, Watt s'era contentato di guernire d'un'asta dentata la porzione di gambo dello stantuffo che sporge fuori dal cilindro. Quest'asta dentata ingranava i suoi denti con quelli d'una ruota pure dentata; mezzo semplicissimo per trasmettere il movimento. Ma questo congegno produceva gran rumore e guastavasi con molta facilità, in ispecie quando si voleva imprimere una seconda direzione al movimento. A questo congegno Watt, sostituì quello più complicato che si conosce col nome di *parallelogramma articolato*.

Ecco la spiegazione di quest'ingegnoso apparecchio.

Sia C B (fig. 21) una leva girevole intorno al perno C, ed O D un'altra leva di lunghezza eguale alla precedente, girevole alla sua volta intorno al perno O; supponiamo ora che le estremità B e D di queste due leve sieno unite con snodatura ad una verga intermedia o *biella* B D. Movendo la leva B C, l'estremità B della stessa descriverà un arco di cerchio (che vedete punteggiato) intorno al perno C; del pari, muovendo

la leva OD, il punto D descriverà un arco consimile intorno al perno O: per conseguenza la biella BD si appoggerà continuamente su due archi di cerchio. Si può riconoscere sperimentalmente — e si può dimostrarlo colla geometria — che il punto di mezzo M della biella BMD descriverà, purchè le escursioni dei punti B e D non sieno molto ampie, una curva che ben poco si scosta da una linea retta. Basta dunque sospendere il gambo dello stantuffo al punto M, perchè il movimento sensabilmente rettilineo di questo gambo possa essere trasformato in movimento circolare.

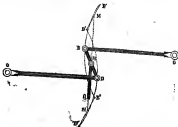



Fig. 24 PARALLELOGRAMMA SEMPLICE DI WATT.

Quest' apparecchio composto di due leve e d' una biella è chiamato comunemente, *parallelogramma semplice di Watt*, sebbene in esso non ci sia parallelogramma. Questa denominazione è destinata a rammentare il *parallelogramma articolato* di Watt, al quale quest' apparecchio semplificato serve di base come ora vedremo.

Imaginiamo che la leva C A (fig. 25) sia prolungata al di là del punto di articolazione A per una lunghezza A B eguale

ad AC, e che la nuova estremità B sia congiunta col punto A' mediante due braccia articolate B B' e B' A', per modo che i quattro punti AA' B'B formino un parallelogramma mobile i cui lati possono pigliare qualsivoglia inclinazione in virtù delle quattro cerniere che ne uniscono a due a due le estremità. Una linea retta condotta dal punto C al punto B' passerà pel punto di mezzo M della biella AA', e sarà alla sua volta divisa in due parti eguali nel detto punto M. Segue da ciò che il punto B' descriverà una linea simile a quella percorsa dal punto M, il che vuol dire che anche il punto B' si manterrà sensibilmente sopra una linea retta. Attaccando dunque il gambo di un secondo stantuffo a questo punto B', mentre il gambo del primo sia attaccato al punto M, questi due gambi si muoveranno parallelamente ed in linea retta.

Fig. 25. TEORIA DEL PARALLELOGRAMMA ARTICOLATO.

La figura che segue vi rappresenta il *parallelogramma articolato di Watt* come è in uso nelle macchine a vapore.

EB (fig. 26) è una leva rigida che gira intorno al perno fisso E, e che si articola, all'altra sua estremità B, col parallelogramma snodato ABDC. L'estremità superiore A del gambo dello stantuffo della macchina a vapore è fissata con articolazione all'angolo A del parallelogramma. Quando lo stantuffo si solleva e spinge in alto il gambo che lo sormonta, l'estremità C descrive un arco di cerchio, sebbene il punto A si muove in linea retta dal basso all'alto. Lo stesso giuoco si ripete, ma in modo inverso, durante la discesa dello stantuffo: il punto A discende verticalmente in linea retta.

Nelle macchine a vapore a condensazione, si fissa di solito il gambo della pompa ad aria — ossia della pompa destinata

ad estrarre continuamente l'acqua riscaldatasi nel condensatore — al punto di mezzo della verga BD, il qual punto, come abbiam detto poc' anzi, si muove esso pure verticalmente ed in linea retta.

Quest'è il principio dell'ingegnoso meccanismo inventato da Watt nel 1784 per trasmettere al bilancere il movimento dello stantuffo. Col tempo si adottarono altre disposizioni per la costruzione di quest'apparecchio, ma il principio che serve ad esso di base, è rimasto sempre il medesimo.

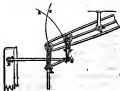



Fig. 20. PARALLELOGRAMMA ARTICOLATO DI WATT.

Non bastava però aver trasmessa la forza al bilancere, bisognava ancora trasformare il movimento circolare di va e vieni impresso a questo bilancere in movimento circolare continuo, atto a muovere una ruota od un volante fissato all' asse della macchina; che trasmette poi il movimento agli organi speciali che devono riceverlo per l'esecuzione d'un determinato lavoro. Così e non altrimenti si poteva ottenere un motore applicabile a tutti gli usi industriali. Watt risolvette felicemente anche questo problema con una

semplice applicazione della manovella che adoperano gli arrotini. Voi la vedete rappresentata, unitamente al *volante*, nella unita figura.

Un'asta inflessibile B (fig. 27), che in tal caso dicesi *biella*, discende dall'estremità del bilanciere. L'estremità superiore di quest'asta è articolata (ovverosia congiunta mediante perno), col bilanciere; l'estremità inferiore di quest'asta o biella B, è analogamente articolata con un'asta C che prende il nome di *manovella*; questa manovella è congiunta invariabilmente all'asse E di una ruota AA molto pesante e di grande diametro che dicesi *volante*.

Fig. 27. MANOVELLA E VOLANTE.

Vediamo ora in qual modo funziona questo congegno. Quando il movimento dello stantuffo ha fatto abbassare il bilancere, la biella (B) è necessariamente costretta ad abbassarsi ed abbassandosi trae seco la manovella (*c*) ed essendo quest'ultima invariabilmente congiunta all'asse del volante, il movimento della manovella obbliga l'asse a girare, e gira quindi anche la gran ruota o volante (A). Quando la biella abbassandosi si trova in direzione verticale, anche la manovelle ha la stessa direzione, e l'una e l'altra si arresterebbero se il volante, per la *legge d'inerzia* (qualsiasi corpo messo in movimento non si arresterebbe mai se non trovasse impedimenti) non si muovesse ancora in virtù della velocità già acquistata; così il movimento del volante mantiene in movi-

mento anche la manovella e la biella che principieno a salire; frattanto incomincia l'opposta oscillazione dello stantuffo, il bilancere si innalza traendo seco la biella e la manovella, ed obbligando quindi il volante a continuare a muoversi circolarmente. Il moto circolare continuo così acquistato dal volante è poi trasmesso con tutta facilità ai singoli organi operatori che debbono esser messi in movimento.

Abbiam detto che il volante si fa molto pesante e di grande diametro; ora vogliam darvene ragione. Quando la macchina per una cagione qualsiasi, accelera il suo movimento, parte della forza sviluppata dalla macchina va spesa nel mettere in movimento il grave volante, e perciò il movimento della macchina risulta più moderato; quando invece la macchina rallenta il moto, il volante continua a muoversi ancora per qualche tempo — per la legge d'inerzia — con la primiera velocità, e contribuisce così ad affrettare il movimento della macchina. Il volante, per un po' di tempo, impedisce dunque alla macchina di muoversi o troppo in fretta o troppo lenta.

Tuttavia il volante non è che rimedio di breve durata, non vale a correggere radicalmente gli effetti della troppa o troppo poca affluenza di vapore dalla caldaia nel cilindro, non vale cioè a rendere regolare ed uniforme il movimento della macchina. Giacchè una forza considerevole e la continuità d'effetto erano i grandi risultati che Watt avea ottenuti fin qui; ma non bastavano ancora a generalizzare l'uso della macchina come motore. Occorreva che il moto della macchina fosse non solo energico e continuo, ma anche perfettamente regolare ed uniforme in tutte le sue parti. L'effetto meccanico prodotto dalla macchina a vapore, come l'abbiam descritta fin qui, doveva

essere di una irregolarità eccessiva. L'affluenza del vapore nel cilindro dipende dalla maggiore o minor quantità di vapore sviluppato nella caldaia, e questa quantità varia naturalmente a seconda della intensità del fuoco nei fornelli. Come ben si comprende, una forza che si ottiene a palate di carbone, di carbone di qualità or buona, or mediocre, sotto la sorveglianza d'un solo operaio, talvolta poco intelligente ed assai spesso disattento, una forza siffatta, andrebbe soggetta a notevoli e frequenti variazioni. Il grand'uomo s'accorse di questo grande difetto. Accorgersene, studiare il rimedio, trovarlo, eran per lui una cosa sola. Appena trovato un rimedio, scopriva un nuovo difetto; ed egli non si scoraggiava per questo, ma si rimetteva alacremente all'opera. Così, narrando la sua vita, si narra una serie di maravigliose invenzioni, che non solo ci diedero la macchina a vapore, ma ce la diedero perfetta.

Tornando al nostro discorso ecco il semplice ed ammirabile congegno che Watt ideò per rimediare completamente all'inconveniente accennato poc'anzi, congegno col quale egli obbligò la macchina a sorvegliarsi da sola ed a produrre moto regolarissimo.

Imaginatevi che nell'interno del tubo destinato a condurre nel cilindro il vapore fornito dalla caldaia, si introduca una valvola mobile che possa chiudere completamente quel tubo o lasciarlo più o meno aperto in modo da sospendere o ristabilire a piacere la comunicazione fra la caldaia ed il cilindro. A seconda che la valvola sarà più o meno aperta, una quantità più o meno grande di vapore potrà penetrare nel cilindro. In questo modo sarà possibile regolare il movimento della macchina; giacchè aumentando o diminuendo la quantità di vapore che entra nel ci-

lindro, evidentemente aumenta nel primo caso e diminuisce nel secondo, il numero dei colpi dello stantuffo. Fin qui non c'è nulla di sorprendente, ma abbiate pazienza che ci siamo: Watt riescì, con uno dei più ingegnosi artifizi che si possano imaginare, a far sì che la valvola vien mossa dalla macchina stessa. Quando lo stantuffo si muove troppo rapidamente, è la macchina che chiude parzialmente la valvola e quindi diminuisce la quantità di vapore che penetra nel cilindro: quando invece lo stantuffo va troppo lentamente, è ancora la macchina che apre la valvola, e, permettendo l'ingresso nel cilindro a maggior copia di vapore, rende più rapidi i movimenti dello stantuffo. Il singolare apparecchio che serve a raggiungere questo scopo importantissimo, è denominato *regolatore a forza centrifuga*.

Esso si compone (fig. 28) d'un'asta verticale I K girevole sui due perni I e K, sulla quale è fissata invariabilmente una puleggia *e*D. Una fune continua e *senza fine* (in meccanica si dà tal nome ad una fune quando serve a trasmettere il movimento fra due assi giravoli e fra due pulegge, a tale scopo si riuniscono i due capi della fune che muovendosi continuamente sembra invero senza fine) *dd* si accavalca da una parte sull' asse del volante e dall' altra sulla puleggia *e*D; perciò quando la macchina è in movimento, la fune *dd* si muove di moto continuo ed obbliga la puleggia *e*D a muoversi circolarmente; e questa, essendo fissata invariabilmente sull'asta IK, obbliga l'asta stessa a girare sui due perni I e K. L'asta IK sorregge due palle di metallo EE, fissate alle estremità di due leve piegate a gomito nel loro punto di contatto con l'asta; le braccia superiori di queste leve son congiunte con articolazioni a cerniera *ff* ad altre due leve più corte, *fh*, *fh*, le quali, del pari mediante articolazioni *hh*, sono congiunte ad un anello F che può scorrere liberamente in su od in giù lungo l' asta verticale IK. Quest' anello poi è congiunto all' estremità F di una leva FH girevole intorno al punto fisso G; all'altra estremità H di questa leva è fissata una biella H L che

trasmette il movimento alla manovella V, la quale finalmente apre o chiude la valvola Z, quella famosa valvola ch'è destinata a regolare l'ingresso del vapore nel cilindro.

Vediamo ora il modo con cui funzionano tutti questi congegni. Quando la macchina è in azione, la corda continua *dd* che, come abbiam detto, è accavalcata sull'asse del volante, viene da questo messa in movimento e quindi obbliga a girare la puleggia D e l'asta I K. Se la velocità della macchina è mediocre, anche l'asta gira con mediocre velocità ed in tal caso, le due palle E E conservano la posizione indicata nella figura. Aumentando la velocità, l'asta D F gira più rapidamente; ma allora la *forza centrifuga* (forza che si sviluppa

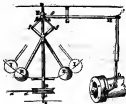



Fig. 28. REGOLATORE DI WATT A FORZA CENTRIFUGA.

quando un corpo muovesi circolarmente, tendendo a tanto più allontanarlo dal punto intorno a cui gira, quanto è più rapido il movimento) fa scostare maggiormente dall'asta le due palle EE le quali prendono la posizione indicata dalla punteggiata I I. L'allontanamento delle palle ha per immediata conseguenza: l'abbassamento della leve minori *fh*, dell'anello F, e dell'estremità F della leva orizzontale F H ad esso congiunta, e quindi l'innalzamento dell'altra estremità H di questa leva; questa leva sollevandosi, trae dietro a se la verga H L, che per mezzo della manovella V, chiude parzialmente la valvola Z, e diminuisce perciò l'affluenza del vapore

nel cilindro. Quando all'incontro la macchina si muove troppo lentamente, le due palle trovansi animate da minor velocità, e quindi diminuendo in esse la forza centrifuga, che bastava prima a tenerle sollevate, si abbassano pel loro peso che torna ad avere il predominio sull'affievolita forza centrifuga; le varie leve si muovono in modo del tutto opposto a quello testè indicato, la valvola Z si apre; e maggior copia di vapore affluisce dalla caldaia nel cilindro rendendo quindi più rapidi i movimenti dello stantuffo e conseguentemente di tutta la macchina.

Grazie a quest'ingegnosissima invenzione, la macchina si muove con incredibile regolarità. Per darvene un'idea vi diremo soltanto che a Manchester, nella filatura di cotone d'un valente meccanico, Lee, la macchina a vapore dello stabilimento faceva andare anche gli indici d'un orologio che muovevansi con la stessa regolarità degli indici d'un oriuolo ordinario.

L'ultima invenzione di Watt si riferisce all'impiego dell'*espansione* del vapore: invenzione delle più ammirabili, di cui l'onore spetta tutt'intero al celebre meccanico, benchè egli non ne abbia ricavato molto profitto.

Alcune spiegazioni sono necessarie a ben comprendere in che consista l'impiego della espansione del vapore, che nelle macchine moderne procurò rilevante economia di combustibile.

Se il robinetto destinato ad introdurre il vapore nel cilindro, rimane aperto per tutta la durata del movimento ascendente o discendente dello stantuffo, questi giungerà al termine della sua corsa con velocità ognor crescente, la quale avrà per risultato di imprimere a tutti i pezzi della macchina un urto ed uno scuotimento dannosissimi. Ma se il robinetto d'ammissione, in luogo di rimanere aperto durante tutta un'oscillazione di stantuffo, vien chiuso quando lo stantuffo

è giunto ad un terzo od alla metà della sua corsa; la quantità di vapore introdotta a questa guisa sarà tuttavia sufficiente a spingere quanto occorre, lo stantuffo: il vapore entrato nel cilindro, dilatandosi nello spazio vuoto, continuerà a premere lo stantuffo che, in ragione della velocità acquistata, giungerà facilmente all'estremità della sua corsa. Così la macchina va con sensibilissimo risparmio di vapore e quindi di combustibile. È ben naturale che d'altra parte la forza della macchina sarà minore di quella che si otterrebbe lasciando libero il varco al vapore; questa riforma riesce tuttavia vantaggiosa, perchè la riduzione nella spesa di combustibile è ben maggiore della riduzione che ne consegue nel lavoro così ottenuto dalla macchina.

L'espansione del vapore, introdotta presentemente quasi in tutte le macchine a vapore, permette sensibili economie di combustibile, e persone competenti dichiarano che il pregio dell'espansione, rispetto all'economia, può paragonarsi a quello del condensatore. Però Watt fece uso dell'espansione soltanto intorno al 1782. Gli scopi principali ch' ei prefiggevasi, consistevano nel moderare gli urti prodotti dallo stantuffo sui due fondi del cilindro e nel rendere uniforme il movimento accelerato che esso deve inevitabilmente acquistare quando il vapore agisce, sullo stantuffo, senza interruzione. Soltanto ai nostri giorni, come diremo fra breve, l'espansione del vapore fu utilizzata in guisa da ricavarne sensibilissimo vantaggio economico.

Grazie a questa bella serie di invenzioni, nessuna delle quali fu prodotta dal caso, ma che risultavano tutte da perseveranti ricerche, Watt risolse adunque il gran problema d'un motore universale, tanto stu-

diato da un secolo. Un semplice operaio meccanico, senza fortuna e senza studii, impadronendosi di una macchina imperfetta e che da cinquant'anni funzionava senza progressi notevoli, la trasformò in un agente motore di una forza quasi smisurata e di una applicazione illimitata. Il principio su cui si fonda la macchina così trasformata permette di ottenerne una potenza senza limiti; gli artifici impiegati a moderarne e regolarne i movimenti, permettono di impiegarla nei modi più svariati, di applicarla tanto ai lavori più dilicati quanto ai lavori più colossali.

Epperò pochi anni bastarono a diffondere questa macchina tanto preziosa, in tutta l'Inghilterra, e più tardi in tutto il mondo civile. La si impiegò nelle varie manifatture di seta, di lino e di cotone; nella tipografia; nei mulini, nei lavori delle miniere e delle officine, nella locomozione per terra e per acqua, nell'idraulica, nell'agricoltura, nella fabbricazione della carta, della porcellana, ecc.; insomma, poche sono oggidì le industrie che non ricorrono a sì potente ausiliario.

Una cifra basterà a far comprendere la prodigiosa economia che si potè effettuare nelle operazioni industriali impiegando la macchina a vapore.

Uno staio di carbone che abbrucia in una di queste macchine in Cornovaglia produce lavoro corrispondente a quello di venti uomini che lavorassero dieci ore al giorno; e siccome colà uno staio di carbone non costa che circa 90 centesimi, così la macchina di Watt ha permesso di ridurre a meno di 5 centesimi l'equivalente del lavoro di una giornata d'operaio.

Presentemente la potenza complessiva delle macchine a vapore adoperate a varii usi in Inghilterra, è di 82 milioni e mezzo di cavalli, equivalenti a 400

milioni di uomini. Per mezzo del vapore adunque l'Inghilterra, con 20 milioni di abitanti ha una produzione corrispondente al lavoro di una popolazione venti volte maggiore.

XVII.

Influenza delle macchine a vapore sul benessere delle classi operaie. — Paragone con l' influenza esercitata dall' invenzione della stampa — Assurde declamazioni e dannosi pregiudizi. — La fabbricazione delle calze a macchina. — Insaziabile desiderio di benessere riposto dalla natura nel cuore dell' uomo.

A primo aspetto sembrerebbe che i vantaggi recati dalla macchina a vapore dovessero tornare di grave danno alle classi operaie e ridurle all'inazione. Avviene invece l' opposto. Ed invero, le macchine producono un notevole risparmio nella mano d' opera e così permettono di fabbricare più a buon mercato; il buon mercato facilitando il consumo, aumenta le domande, e con esse il numero degli operai impiegati nelle varie industrie. Ma vi ha di più, le macchine sopprimendo i lavori faticosi, permettono di dar lavoro anco alle donne ed ai fanciulli.

« Avvenne lo stesso, osserva Arago, quando quattro secoli or sono fu inventata l'arte tipografica. Prima d'allora i copisti provvedevano di libri quei pochi ricchi che potevano permettersi simil lusso. E siccome la stampa permetteva ad un uomo solo di fare, in minor tempo, il lavoro di duecento operai, così non si tardò a qualificarla per un'invenzione infernale che avrebbe ridotti all'inazione quasi tutti gli amanuensi.

« Le cose procedettero in modo ben diverso: i libri manoscritti, per colpa dell'elevatissimo prezzo, erano assai scarsamente richiesti dal pubblico; i libri stampati all'incontro,

grazie al mite prezzo con cui poterono essere venduti, furono tosto richiesti avidamente. Si riprodussero continuamente le opere classiche dell'antichità; nuove idee, nuove opinioni, fecero sorgere immenso numero di libri gli uni d'interesse perpetuo, gli altri ispirati da circostanze passeggere. Prima dell'invenzione della stampa il commercio librario di Londra dava lavoro a duecento persone soltanto, presentemente vi trovano impiego decine e decine di migliaia.

« La stampa creò nuove industrie, ampliò le antiche, e diede pane a milioni d'operai.

« E che diremmo se, lasciato da canto il punto di vista ristretto, e per così dire materiale, esaminato fin qui, volessimo considerare l'arte tipografica dal punto di vista morale ed intellettuale; l'influenza da essa esercitata sui costumi pubblici, sulla diffusione dei lumi, sul progresso della ragione umana!

« Se quest'esempio non vi basta, ne citeremo un'altro ancor più luminoso e che entra nel nostro argomento. Quando l'ingegnoso Arkwright utilizzando la macchina di Watt nella filatura del cotone sostituì vantaggiosamente i cilindri girevoli alle dita delle filatrici, il prodotto annuale delle manifatture di cotone in Inghilterra non giungeva ai cinquanta milioni di franchi: presentemente questo prodotto supera il miliardo. La sola contea di Lancaster fornisce annualmente una quantità tale di filo che non si potrebbe ottenerla neppure da ventun milioni d'abili filatrici, che non si servissero che del fuso e della conocchia; e sebbene l'industria della filatura meccanica sia giunta in Inghilterra al più alto grado di perfezionamento, pure essa impiega ora più d'un milione e mezzo d'operai, mentre prima di Arkwright e di Watt non ne impiegava che cinquanta mila.

« Le assurde declamazioni, i nocivi pregiudizii intorno alle macchine non sono moderni. Circa tre secoli or sono un abile meccanico, William Lee aveva inventato il modo di fabbricare speditamente le calze al telaio; invocando l'appoggio del re Giacomo I, quel povero inventore ottenne di far funzionare il suo apparecchio sotto agli occhi del monarca. Tanto il re quanto i cortigiani dovettero convenire che quell'invenzione era ingegnosissima e si credettero tuttavia in obbligo di respingerla. Perchè? Pell'erronea credenza che i fabbricatori di calze a mano sarebbero stati completamente

rovinati dall'introduzione di quella macchina. William Lee, privo d'appoggi finì miseramente i suoi giorni in un ospizio, come tanti altri uomini di genio che ebbero la sventura di camminar troppo avanti per l'epoca in cui vivevano.

« Vi ingannereste però imaginandovi che la corporazione delle fabbricatrici di calze, alla quale fu sagrificato William Lee, fosse a quei tempi molto numerosa. Nel 1589 erano ben pochi coloro che portavano calze; solamente le persone alto locate ed assai facoltose potevano permettersi tanto lusso. La classe media sostituiva quella parte del vestiario con strette strisce di stoffa diverse. Il rimanente della popolazione (il novecentonovantanove per mille) andava scalzo. Ora invece le cose sono talmente mutate che, in tutti i paesi civili, la fabbricazione delle calze a macchina impiega migliaia e migliaia d'operai.

« La chiave dell'enigma sta nell'insaziabile desiderio di benessere che la natura ha collocato nel cuore dell'uomo, un bisogno soddisfatto chiama tosto un nuovo bisogno; tutti i nostri desiderii aumentano col buon mercato degli oggetti che possono servire ad alimentarli, in guisa da sfidare la potenza creatrice delle macchine più potenti. »

XVIII.

ULTIMI ANNI DI WATT.

Ultimi anni di Watt : sua residenza a Healhfield — *La Società lunare.* Spirito anedottico di Watt — L'invenzione del copia-lettere — Watt giudicato da Walter Scott — Watt apprende l'anglo-sassone per sottoporre ad esame le sue facoltà mentali — Morte di Watt. — Monumento eretto alla sua memoria, nell'abbazia di Westminster. — Un'epigrafe di lord Brougham

Queste macchine ammirabili che dovevano esercitare influenza tanto straordinaria sulla prosperità della nazione britannica e del mondo intero, Watt le faceva eseguire sotto a' proprii occhi nell'immenso stabilimento di Soho. Di là partivano quei potenti apparecchi

che andavano poscia a funzionare nelle varie parti dei tre reami. La manifattura di Soho era per gl'inglesi una specie di scuola pratica; era uno stabilimento d'istruzione per gl'ingegneri ed i meccanici della Gran Brettagna. Vi arrivavano, ed in buon numero, anche gli stranieri per studiarvi il meccanismo delle nuove macchine e trapiantarne poi l'impiego nella loro patria.

Watt continuò a dimorare a Birmingham od a Soho fino alla scadenza della sua società con Matteo Bulton; la società fra essi convenuta doveva durare fino allo spiro del primo brevetto di Watt che, concesso nel 1775 pel periodo di venticinque anni, spirava nel 1800. In quell'anno Watt e Bulton si separarono; ciascuno dei due fu sostituito dal proprio figlio, ed i nuovi soci continuano ancor oggi a dirigere lo splendido stabilimento dovuto alla perseveranza ed al genio dei suoi fondatori.

Giacomo Watt, ritiratosi dagli affari, fissò la sua dimora in una tenuta poco discosta da Soho, detta Heathfield, da lui acquistata nel 1790. E trattandosi di un sì grand' uomo, ci sia lecito soffermarci un momento a discorrere dei suoi ultimi anni. Egli li trascorse nel lieto ritiro di Soho, ponendo in pratica le massime della sua dolce filosofia, godendo del riposo e della fortuna acquistata durante la sua gloriosa carriera, provando l'ineffabile felicità d'essere testimonio del prodigioso sviluppo che andava acquistando, mercè i suoi lavori, la prosperità della sua patria.

Gli onesti piaceri e le relazioni di società l'occuparono esclusivamente fino al termine della sua vita. Fin da quando dimorava ora a Birmingham ed ora a Soho, egli erasi abituato a riunire intorno a sè un piccol cerchio d'amici, nel quale spiccavano: l'illustre

chimico Priestley, il poeta Darwin, il botanico Withering, il chimico Keir, Edgeworth, padre della celebre mise Maria, ed alcuni artisti e letterati di grido. Questa piccola accademia portava il nome di *Società lunare* (*Lunar Society*), il qual titolo significava semplicemente che gli accademici si riunivano soltanto le sere in cui, splendendo la luna, potevano restituirsi alle loro dimore guidati dal chiarore lunare. Watt riunì a Heathfield gli sparsi avanzi della sua piccola accademia, ed in mezzo a quest'eletto circolo compiacevasi di dar libero corso alle sue chiacchiere ed ai suoi racconti. Niuno possedeva tanta abilità di parola. Nella sua gioventù aveva divorate moltissime opere d'imaginazione e di poesia giocosa, e la sua felice memoria vi attingeva l'argomento per continui racconti. Quando la memoria non era pronta egli vi suppliva con l'imaginazione; per serate intere egli imbandiva all'uditorio racconti di sua invenzione, con sembiante talmente convinto e sicuro che bisognava proprio crederci come a fatti incontrastabili.

Quanti aneddoti dovuti alla fervida imaginazione di Watt furono raccontati nelle *Riviste* e nei *Magazzeni* inglesi per cura dei mistificati uditori, che commettevano la gentile indiscrezione di esporli al pubblico in piena buona fede! Una volta avendo lanciato i personaggi del suo racconto in una situazione complicatissima, Watt si trovò alquanto imbarazzato a trarli fuori da quel labirinto. Darwin l'interruppe:

« Il signor Watt ci racconta forse qualche storiella di sua invenzione? »

Watt si ferma, guarda il suo interlocutore con la massima serietà, e poi:

« La vostra domanda, caro signor Darwin, mi stupisce al massimo grado; da vent'anni che ho il pia-

cere di passare le mie serate in vostra compagnia, ho mai agito diversamente? È possibile che abbiate voluto fare di me un emulo di Robertson o di Hume, mentre tutte le mie pretese si limitano a calcare le orme della principessa Scheherazade delle *Mille e una notti*? (1) ».

Queste dolci riunioni nelle quali lo spirito amabile e le grazie leggiadre del vecchio sapevano spandere tante attrattive, erano molte animate dalla presenza della distinta donna a cui egli aveva dato il nome; giacchè Watt, dopo alcuni anni di vedovanza, erasi deciso a sposare la figlia d'un fabbricatore, abitante nella stessa contea. Le idee illuminate, i giudizi retti e le serie cognizioni di miss Mac-Gregor avevano specialmente contribuito a fissare la sua scelta. Le prime relazioni sorsero intorno al tavolino del the, in una delle serate di Watt. Erasi parlato di Shakespeare e

(1) Questo singolar talento di novelliere erasi manifestato in Watt fin dai primi anni della sua infanzia Arago nella già citata *notizia biografica* ne riferisce una curiosa prova.

« Lo spirito aneddotico che il nostro confratello (Arago parlava all'Istituto di Francia, cui Watt apparteneva in qualità di socio straniero) sparse con tanta grazia per ben mezzo secolo, sopra quanti lo circondavano, si sviluppò in lui assai di buon'ora Se ne avrà una prova nelle poche linee seguenti che estraggo, traducendole, da una nota scritta nel 1805 dalla signora Marion Campbell, cugina e compagna d'infanzia del celebre ingegnere.

« Durante un viaggio a Glasgow, la signora Watt confidò suo figlio Gia-« como ad una amica Poche settimane dopo, essa venne a vederlo senza « aspettarsi certamente la strana accoglienza che le era preparata — Si-« gnora, le disse l'amica appena potè parlarle, dovete pigliarvi il vostro « Giacomo e portarlo via da Glasgow, io non posso sopportare più a lungo « lo stato d'eccitazione in cui egli mi mette, sono estenuata per mancanza « di sonno Tutte le notti, quando sta per suonare l'ora in cui la famiglia « è abituata a coricarsi, vostro figlio riesce abilmente a sollevare qualche « discussione, nella quale trova modo di introdurre un racconto che molte « volte ne fa scaturire degli altri Questi racconti patetici o burleschi in-« teressano talmente tutta la mia famiglia, ed essa lo ascolta con tanta « attenzione, che udreste volare una mosca. Le ore passano così senza « accorgersene, ma all'indomani io non posso più per la stanchezza. Si-« gnora, ve ne prego, portate via vostro figlio, riconducetelo presso di voi »

di Racine, Watt aveva difeso l'autore del *Macbeth* e combattuto il poeta d'*Atalia*, lodato dalla signorina Mac-Gregor. Questa discussione produsse uno scambio di lettere, che finì col matrimonio.

La letteratura e gli avvenimenti della giornata non erano l'unico tema dei discorsi in casa Watt. Anche la scienza ci aveva la sua parte, e la meccanica, a Watt tanto cara, non era certo dimenticata. Il fertile genio di Watt vi trovava talvolta occasione d'esercitarsi con vantaggio. Un giorno Darwin gli disse:

« Ho ideata una penna con due becchi, mercè la quale si scriverà tutto due volte, e frutterà così a un tempo solo l'originale e la copia di una lettera.

« Io mi lusingo di trovare una soluzione migliore, rispose Watt. Ci penserò questa notte e domani vi comunicherò il risultato delle mie riflessioni ».

All'indomani era inventato il copia-lettere.

Fu allo stesso modo ch'egli ideò la curiosa macchina che permette d'ottenere, con mezzi semplicissimi, la riproduzione d'una statua, d'un basso rilievo o di un busto. Quest'interessante invenzione fu effettuata da Watt nei suoi ultimi anni; ei ne distribuiva i prodotti ai suoi amici pregandoli di accettare « questo lavoro d'un giovane artista che entrava appena nell'ottantesimo terzo anno di vita »

Così il fuoco del suo genio fortunato, che aveva incominciato a brillare nella sua prima gioventù, splendeva ancora negli ultimi anni. Conviene, per non stupirsene, conoscere il carattere e le speciali qualità dello spirito di Giacomo Watt. Il celebre ingegnere aveva ricevuto in sorte il raro e prezioso dono dell'imaginazione. È un'idea falsa e tutt'altro che giustificata, l'ammettere che l'imaginazione possa essere rinchiusa nel solo dominio delle lettere e delle arti

belle. Questa dote fortunata — dice il Figuier — presiede più di quanto si crede alle creazioni scientifiche. Per slanciarsi nelle alte regioni della scienza alla ricerca dell'incognito; per dirigersi, calcando nuove vie, verso quegli orizzonti velati che il futuro ci nasconde; conviene spesso seguire con gli occhi la stella ispiratrice che brilla nel firmamento dei poeti. Scostandosi dalle regole stabilite, slanciandosi con sguardo sovrano fuori della cerchia ristretta delle opinioni volgari, un uomo superiore può innalzarsi ai grandi concetti che valgono ad immortalare il suo genio. Watt ne fornisce splendido esempio. Egli aveva ricevuto in dono da natura la facoltà dell'imaginazione ed ebbe la fortuna di preservare questo dono brillante dal pericoloso contatto dell'educazione scolastica. La sua umile origine, le modeste occupazioni della sua giovinezza, allontanarono dal suo spirito le regole assolute e le forme recise dell'insegnamento classico. Se egli avesse seguite le lezioni banali che allora si davano all'Università di Oxford, sarebbe diventato senza dubbio un professore erudito; lasciato in balìa di sè stesso, divenne il primo meccanico dell'epoca.

Gli fu chiesto un giorno se l'invenzione del parallelogramma articolato gli avesse costato molti calcoli e molti pensieri: « No, rispose, e a dir vero rimasi sorpreso io stesso della perfezione con cui funziona. Vedendolo agire per la prima volta, provai un piacere sì grande come se l'invenzione che esaminavo fosse fatta da altri. »

Ei raccontò la serie delle sue invenzioni relative al perfezionamento della macchina di Newcomen con queste parole: « Concepita l'idea di ottenere la condensazione fuori del cilindro, tutti gli altri miglioramenti si consegnirono con incredibile rapidità; per-

modo che in uno o due giorni il mio piano era già perfettamente combinato nella mia mente, e per esperimentarlo lo posi tosto in esecuzione. »

Egli era solito a considerare tutte le sue invenzioni quali risultati di pensieri semplicissimi che avrebbero potuto sorgere in mente a qualunque altro; soggiungeva soltanto ch' era già una buona ventura per lui essere stato il primo a sottoporre all' esperienza quei pensieri. E questa dichiarazione era sincera; non c' entrava affettazione.

Grazie a questa felice organizzazione intellettuale, Watt poteva occuparsi con buon esito anco di cose che gli erano del tutto nuove. Ciò potrebbe oggi sembrarci dubbio, se alcuni dei suoi contemporanei non avessero avuto la cura di lasciarcene testimonianze incontestabili. Il suo allievo Playfair dice:

« Lo spirito di Giacomo Watt poteva essere paragonato ad un' Enciclopedia, che, aperta a caso in qualsiasi pagina, offre alla vostra curiosità o un fatto nuovo o lo sviluppo d' una verità o una scoperta. »

Walter Scott nella prefazione al suo bel romanzo *Il Monastero* dice:

« Watt non era soltanto uno scienziato dei più profondi, che col massimo buon esito seppe ricavare da certe combinazioni di numeri e di forze, nuove applicazioni, non solo occupava un posto dei più distinti fra quanti si fanno notare per l'universalità della propria istruzione; egli era inoltre il migliore, il più amabile degli uomini. La sola volta ch' io m'incontrai in lui, il vidi circondato da una piccola riunione di letterati del Nord. Là vidi ed udii cose che non vedrò nè udrò mai più. Nell' ottantunesimo anno di sua età, il vecchio vivace, amabile, pieno di benevolenza, prendeva vivo interesse a tutti i discorsi: la sua scienza stava a disposizione di chi la richiedeva. Egli spandeva sovr' ogni oggetto i tesori de' suoi talenti e della sua immaginazione. Fra i *gentlemen* che lo circondavano eravi un profondo filologo; Watt discusse con lui intorno all' origine dell' alfabeto come se fosse stato

contemporaneo di Cadmo. Un valente critico si introdusse nel discorso ed allora avreste detto che il vecchio aveva consacrata tutta la sua vita a studiar belle lettere ed economia politica. Sarebbe superfluo menzionare le scienze: queste formavano la sua *carriera* brillante e speciale. Tuttavia quando parlò col nostro compatriotta Jedediah Cleishbotham, avreste giurato essere Watt un contemporaneo di Claverhouse e di Burley, dei persecutori e dei perseguitati; egli aveva fatta l'esatta enumerazione dei colpi di fucile che i dragoni tirarono sui fuggiaschi presbiteriani. Scoprimmo infine che niun romanzo, per quanto oscuro, non gli era sfuggito e che la passione dell'illustre ingegnere per codesto genere di lavori era viva quanto nelle modistine di diciott' anni. »

Citeremo ancora la testimonianza di Arago, il quale, nella citata notizia biografica, così parla delle facoltà intellettuali di Watt:

« La salute di Watt erasi rinvigorita con l'età; le sue facoltà mentali conservarono tutta la loro forza fino all'ultimo istante. Il nostro confratello credette una volta che stessero per declinare, e fedele al pensiero espresso nel suggello che aveva scelto (un occhio circondato dalla parola *osservare*) si decise a chiarire i suoi dubbi sottoponendo sè stesso ad esame, ed eccolo più che settuagenario, rintracciare con qual genere di studio avrebbe potuto sperimentarsi e quasi desolarsi non trovando alcun tema su cui il suo spirito non si fosse già esercitato. Ma poi si rammenta che esiste una lingua anglo-sassone, che questa lingua è difficile, e l'anglo-sassone diviene tosto il bramato mezzo d'esperienza, e la facilità con cui riesce ad impossessarsene, gli mostra la vanità dei timori concepiti. »

Così l'illustre meccanico, conservando fino agli ultimi giorni il pieno uso delle sue facoltà, invecchiava circondato dagli affetti famigliari, godendo d'un riposo nobilmente meritatosi mercè una lunga e laboriosa carriera, ricevendo con legittimo orgoglio gli omaggi che i suoi concittadini rendevano alle sue virtù ed al suo genio. Nella state del 1819 alcuni sintomi allarmanti annunciarono l'approssimarsi della sua fine;

non si illuse egli sulla natura del male e da allora in poi non pensò ad altro che a consolare i suoi amici. Ringraziava la sorte di tutti i benefici goduti nella sua lunga vita. Esprimeva la sua profonda gratitudine pei servigi che gli era stato concesso di rendere alla sua cara patria, per la serenità e la calma che avevano abelliti gli ultimi suoi anni. Il nobile vecchio morì il 25 agosto 1819.

Fu sepolto nella chiesa parrocchiale di Heathfield. Suo figlio Giacomo fece innalzare sulla tomba del padre un monumento gotico, nel centro del quale scorgesi una statua in marmo dovuta allo scalpello di Chantrey. Una seconda statua dello stesso artista fu collocata per cura del figlio, in una delle sale della celebre università che protesse l'illustre meccanico nei giorni difficili della sua giovinezza.

Ma il popolo inglese sa degnamente onorare i suoi morti illustri, e non lasciò che la pietà filiale fosse sola ad onorare la memoria del grande cittadino. Una statua in bronzo posta sopra piedestallo di granito fu innalzata in onore di Watt sopra una piazza di Glasgow, e gli abitanti di Greenock, sua città natale, collocarono a loro spese una statua marmorea nella biblioteca comunale.

L'alta riconoscenza della nazione non si limitò a questo: l'abbazia di Westminster possiede oggi un monumento degno del genio di Watt.

L'inaugurazione di questo monumento ebbe luogo a Westminster in solenne adunanza, in mezzo ad una imponente riunione ove figuravano molti pari d'Inghilterra ed i membri più cospicui della Camera dei Comuni sotto la presidenza del primo ministro d'allora, lord Liverpool. Questo monumento consiste in una mirabile statua in marmo, che è una delle più belle

sculture di Chantrey. Essa riproduce con tutta fedeltà la fisonomia calma e meditativa del grande inventore; gli ornamenti e gli emblemi che la decorano producono un effetto dei più maestosi. Il piedestallo porta un eloquente epigrafe, dettata da lord Brougham (1). Con questo magnifico omaggio l'Inghilterra volle degnamente consacrare la gloria d'uno fra i più grandi uomini ch'essa abbia mai prodotti.

Ma a che servono, per genii simili, queste sontuose testimonianze dell'ammirazione universale? Non son necessari nè il rame nè il bronzo a consacrarne la memoria. I servigi che Watt rese alla sua patria, all'Europa, all'umanità tutta quanta, bastano ad immortalarne il nome. La macchina da lui creata fu il punto di partenza verso il benessere generale di cui gode la società moderna. Moltiplicando in proporzione straordinaria la somma del lavoro pubblico, la macchina di Watt coperse il suolo dei paesi civili, di milioni di lavoratori, altrettanto docili quanto instancabili, che dormono ai nostri piedi sotto forma di un masso di carbone e che ad un nostro cenno si destano per offrirci le loro braccia di ferro, i loro muscoli di ac-

(1) NON FU ALLO SCOPO DI PERPETUARE UN NOME
CHE DOVRÀ DURARE QUANTO LE ARTI DELLA PACE
MA PER MOSTRARE
CHE GLI UOMINI SANNO ORMAI ONORARE COLORO
CHE SONO MAGGIORMENTE DEGNI DELLA LORO GRATITUDINE
IL RE
I MINISTRI MOLTI NOBILI
ED ALTRI CITTADINI DEL REAME
HANNO INNALZATO QUESTO MONUMENTO A
GIACOMO WATT
CHE APPLICANDO LA FORZA D'UN GENIO ORIGINALE
ESERCITATO PER TEMPO NELLE RICERCHE SCIENTIFICHE
AL PERFEZIONAMENTO
DELLA MACCHINA A VAPORE
AUMENTÒ LE RISORSE DEL SUO PAESE
ACCREBBE LA POTENZA DELL'UOMO
GIUNSE A POSIZIONE EMINENTE
FRA I PIÙ ILLUSTRI SCIENZIATI
ED I VERI BENEFATTORI DELL'UMANITÀ.
NATO A GREENOCK MDCCXXXVI
MORTO A HEATHFIELD NEL STAFFORDSHIRE MDCCCXIX.

ciaio. Egli è con l'aiuto di queste pacifiche legioni, che miglioramenti incalcolabili furono già introdotti nel giro di pochi anni nella sorte e nelle condizioni di esistenza di tutte le classi sociali.

Fig. 29. MONUMENTO INNALZATO A WESTMINSTER ALLA MEMORIA DI WATT.

I prodotti del lusso utile messi a disposizione di tutti, l'esistenza resa più dolce, più facile, la vita intellettuale ampliata in tutte le menti; son questi gli immortali risultati dei lavori di Giacomo Watt. I benefici versati dal suo genio sopra tutta l'umanità,

costituiscono il vero, l'imperituro monumento che renderà immortale la sua memoria e che farà vivere per sempre il suo nome nel cuore delle generazioni presenti e della posterità.

XIX (1).

I PERFEZIONAMENTI DELLE MACCHINE A VAPORE.

L'espansione del vapore utilizzata nella *macchina di Wolf a due cilindri* — Macchine ad *alta* ed a *bassa pressione*, *a condensazione* e *senza condensazione*. — Il vapore ad alta pressione. — L'ebollizione dell'acqua in vetta al monte Bianco. — Macchina di Leupold.

Per lunga serie d'anni si fece esclusivamente uso della macchina di Watt, detta *macchina a bassa pressione ed a condensatore*, della quale vi abbiam narrata la storia nei precedenti capitoli. Questa macchina fu adoperata per lungo tempo tanto in Inghilterra quanto sul continente senza farle subire modificazione alcuna, neppure nei casi in cui essa perde gran parte de' suoi pregi, vale a dire nella produzione di piccole forze. Tuttavia, la necessità di appropriare l'azione del vapore a differenti specie di lavori, ed il desiderio di ridurre la sensibile spesa del combustibile richiesto dalle macchine di Watt, indussero i meccanici a modificarla quasi in ogni sua parte. Ed ora ci proponiamo di esporvi queste nuove disposizioni, e con ciò termineremo l'istoria delle macchine a vapore fisse.

(1) Questo capitolo ed i tre seguenti sono in gran parte ricavati dal Figuier, *Merveilles de la Science*, — Parville, *Découvertes et inventions modernes*. — Scholl: *Der Führer des Machinisten*.

Nel 1804, essendo spirati i brevetti di Watt, la macchina a vapore subì un'importantissima modificazione: si costruirono *macchine a doppio cilindro* che dal nome del costruttore furono dette *macchine di Wolf.* Tale modificazione fu introdotta allo scopo di trarre il massimo partito dalla espansione del vapore.

Abbiam veduto che Watt avea tratto lieve vantaggio dall'espansione del vapore nel vuoto; egli aveva registrato questo fatto nei suoi brevetti, piuttosto come una veduta teorica anzichè per farne oggetto di seria applicazione. Lasciando espandersi il vapore, Watt aveva principalmente in mira d'evitare gli urti dello stantuffo contro i fondi del cilindro.

La macchina di Wolf ha per iscopo, abbiam detto, di utilizzare quanto più è possibile *l'espansione del vapore;* ma che dobbiamo intendere per *espansione del vapore*, e come si può utilizzarla?

Se la comunicazione fra la caldaia, in cui si genera il vapore, ed il cilindro in cui scorre lo stantuffo, rimane aperta per tutto il tempo impiegato dallo stantuffo a compiere una corsa ascendente o discendente, il vapore passa continuamente dalla caldaia nel cilindro, e lo stantuffo, trovandosi sottoposto all'azione d'una forza costante, accelera continuamente il suo moto, e quando giunge al termine della sua corsa, è animato da grandissima velocità. Animato da questa grande velocità, lo stantuffo urta con violenza sul fondo del cilindro compromettendone la solidità; ed una parte non indifferente della forza del vapore vien così consumata a produrre quest'urto perniciosissimo.

Watt rimediò a questo duplice inconveniente, imaginando, come abbiam già detto, di sospendere la comunicazione fra la caldaia ed il cilindro in un dato istante della corsa dello stantuffo. Se interrompete

l'ingresso del vapore nel cilindro, chiudendo l'apposito robinetto, quando lo stantuffo è giunto per esempio ad un terzo o ad un quarto della sua corsa, lo stantuffo non si arresta ma continua a muoversi, tanto in virtù della velocità già acquistata, quanto ancora per la forza elastica — o tendenza ad espandersi — che ancor possiede il vapore sebbene imprigionato nel cilindro senza comunicazione alcuna con la caldaia. Il vapore, giungendo nel vuoto, prodotto in una delle due capacità del cilindro dal movimento progressivo dello stantuffo, si dilata, si *espande*, come farebbe una molla abbandonata dopo averla compressa, e con la forza elastica che gli è propria, esercita un impulso meccanico. Lo sforzo prodotto dal vapore che si espande (nel vuoto prodottosi in quella capacità del cilindro) basta a spingere lo stantuffo fino all'estremità del cilindro — con velocità ben minore, è vero, di quella che lo animerebbe se il vapore continuasse a giungere dalla caldaia, ma pur sufficiente a fargli compiere la sua corsa. — Ne risulta, che diminuendo progressivamente la velocità dello stantuffo, e divenendo questa quasi nulla nell'istante in cui lo stantuffo tocca il fondo del cilindro, gli urti che prima compromettevano l'esistenza della macchina sono ora eliminati. Ne risulta inoltre un grande vantaggio: la diminuzione di consumo del combustibile, poichè evidentemente si consuma meno vapore di quello che si spenderebbe se il vapore continuasse ad affluire dalla caldaia nel cilindro per tutta la durata della corsa dello stantuffo.

Codesta disposizione adottata da Watt nel 1782 per raddolcire i movimenti della macchina a vapore e rimediare agli urti troppo violenti, fu generalizzata assai rapidamente, dopo di lui, allo scopo di risparmiare

combustibile. Dapprima si provocava l'espansione, chiudendo l'ingresso del vapore nel cilindro ad un dato istante della corsa dello stantuffo, mercè il giuoco del *cassetto*, ossia d'una lastra di metallo che nell'istante opportuno chiude l'orificio pel quale il vapore entra nel cilindro. Ma il costruttore inglese Arturo Wolf, per mettere più largamente in pratica l'uso dell'espansione, cangiò completamente la disposizione dei cilindri. A fianco del cilindro ordinario ne dispose un secondo, alquanto più grande. Il vapore giunge a tutta pressione nel cilindro piccolo con una tensione di 4 o 5 atmosfere e spinge dinanzi a sè lo stantuffo. Ma la parte inferiore del cilindro piccolo, ripiena del vapore giuntovi precedentemente, comunica, mediante un tubo, con la parte superiore del cilindro grande; così il vapore passa in questo cilindro, vi si espande e spinge lo stantuffo maggiore nella stessa direzione in cui si muove lo stantuffo minore; e così il bilancere, od altro organo analogo della macchina a vapore, vien messo in movimento da entrambi gli stantuffi che agiscono concordemente.

La fig. 30 qui unita farà comprendere il moto del vapore in questa macchina ingegnosa. I robinetti vi son disegnati per rendere più facile la spiegazione, ma in vece loro sonvi in fatto i *cassetti* o valvole che funzionano analogamente distribuendo il vapore della caldaia ora in una ora nell'altra delle due capacità del cilindro.

I due stantuffi A e B che si muovono nei due cilindri accoppiati C e D, sono sormontati entrambi da un gambo che trasmette al bilancere il concorde movimento dei due stantuffi. I canali per cui passa il vapore rimangono aperti o chiusi manovrando i rispettivi robinetti; — i canali E ed F servono ad introdurre il vapore, l'uno nella capacità superiore, l'altro nella capacità inferiore del cilindro piccolo; — i canali G ed

H lasciano passare (l'uno nella parte inferiore, l'altro nella parte superiore del cilindro grande) il vapore che ha già servito a far discendere od a far salire lo stantuffo A; — per ultimo i canali K ed L lasciano andare nel condensatore il vapore che, dopo essersi espanso nel cilindro grande, ha fatto abbassare od innalzare lo stantuffo B. Per renderci conto del movimento di questa macchina, supponiamo ora aperti i tre robinetti E, H ed L e chiusi gli altri tre. Il vapore generato nella caldaia, entra per E nel cilindro piccolo, agisce con tutta la sua pressione sulla faccia superiore dello stantuffo A e lo spinge fino al punto più basso della sua

Fig. 30. CILINDRI GEMELLI NELLA MACCHINA DI WOLF.

corsa. Durante questo periodo, il vapore che era stato precedentemente introdotto sotto allo stantuffo A, trova aperta la valvola H, si espande nella capacità superiore del cilindro D, e, pur continuando a premere dal sotto in su lo stantuffo A, preme dall'alto al basso lo stantuffo B. Se le superfici di questi due stantuffi fossero eguali, non ci ricaverebbe, con tale disposizione, alcun vantaggio poichè la pressione sopportata dall'alto al basso dallo stantuffo B farebbe precisamente equilibrio a quella sopportata dal basso all'alto — e quindi in direzione opposta alla precedente — dallo stantuffo A, e quest'ultimo stantuffo non discenderebbe che per la differenza fra la pressione ch'ei subisce sulla faccia superiore

e la pressione ch' ei subisce sulla faccia inferiore. Ma i due stantuffi non sono eguali: lo stantuffo B è più ampio dello stantuffo A: perciò la pressione che lo stantuffo B subisce dall'alto al basso è ben maggiore di quella che in opposta direzione subisce lo stantuffo A per effetto del vapore rimasto nella capacità inferiore del cilindro C; per conseguenza, la differenza fra queste due pressioni è utilmente impiegata a far abbassare lo stantuffo B, nel tempo stesso che il vapore irrompente dalla caldaia spinge dall'alto al basso lo stantuffo A. Giunti al basso entrambi gli stantuffi, chiudiamo i robinetti E, H ed L ed apriamo gli altri tre. Allora il vapore sviluppato nella caldaia, penetra per F nella capacità inferiore del cilindro C e spinge dal basso all'alto lo stantuffo A; il vapore precedentemente introdotto nella capacità superiore del cilindro C, venendo di mano in mano compresso in causa della salita dello stantuffo A, e trovando aperto il robinetto G, passa ad occupare la capacità inferiore del cilindro D, vi si espande, preme dal sotto in su lo stantuffo B e lo obbliga a salire; mentre il vapore che trovasi al disopra di B passa per K nel condensatore, ove si raffredda e ritorna liquido. Ecco dunque che alternando la chiusura e l'apertura di quei robinetti si ottiene un moto concorde alternato nei due stantuffi, e quindi nel bilanciere che da essi vien messo in movimento.

Nelle macchine di Wolf, ben costrutte, della forza di 12 a 15 *cavalli-vapore*, si consumano soltanto 3 chilogrammi di buon carbon fossile per cavallo e per ora di lavoro; mentre le macchine di Watt — a bassa pressione — consumano da 6 a 7 chilogrammi di carbone per cavallo e per ora.

Questa sensibilissima economia congiunta alla dolcezza dei movimenti valse a diffondere rapidamente per ogni dove la macchina di Wolf.

Nei precedenti capitoli abbiam già avuta occasione di accennarvi fugacemente le *macchine ad alta pressione* che più esattamente si direbbero *macchine senza condensatore*; esse presentano due notevoli vantaggi rispetto alle macchine a condensazione. Que-

sie ultime non possono essere stabilile che nei luoghi in cui si ha a disposizione un'abbondante corrente d'acqua per alimentare e mantenere a bassa temperatura il condensatore. Le macchine ad alta pressione all'incontro, essendo prive di condensatore, richiedono soltanto l'acqua necessaria alla produzione del vapore e perciò possono essere stabilite quasi dapperlutto. Aggiungi che le macchine ad alta pressione occupano spazio molto minore delle altre, mentre hanno forza pari, e pesano mollo meno; perciò riesce hen più facile il trasportarle da luogo a luogo.

Prima di narrarvi la storia dell'invenzione e dei progressi della macchina ad alta pressione, dobbiamo esporvi il principio che serve ad essa di base.

Riscaldando l'acqua in un vaso aperto e eotto l'ordinaria pressione almosferica, quell'acqua si riscalda poco a poco; giunta all'ebollizione — alla quale, come ben sapete, corrisponde la temperatura di 100° centigradi (1) — non c'è verso di riscaldarla maggiormenle. Per quanto fuoco facciale intorno al vaso non riescirete che a render più rapida la vaporizzazione, ma non potrete far salire d'un grado la temperatura dell'acqua; tutto il calore prodotto dal fuoco che circonda il vaso va speso a trasformare in vapore l'acqua contenutavi. Ma se chiudete il vaso ed impedite l'escita al vapore, la temperatura dell'acqua e quella del va-

(1) Al diminuire della pressione almosferica diminuisce pure la temperatura corrispondente all'ebollizione. La temperatura di 100° corrisponde all'ebollizione di acqua sottoposta all'ordinaria pressione almosferica, in paesi posti al livello del mare Ascendendo sulle falde di una montagna si riconosce che l'acqua bolle a temperature sempre più basse. Così ad esempio nella città di Quito, nell'America meridionale, posta a 2908 metri al disopra dell'Oceano, la media pressione almosferica è di soli 527 millimetri e l'acqua vi bolle alla temperatura di circa 90° C., sulla cima del monte Bianco, all'altezza di 4800 metri, il barometro non segna che 433 millimetri e l'acqua bolle a 85° C.

pore continueranno gradatamente a salire e giungerebbero a qualunque più alta temperatura se vi fossero vasi tanto robusti da resistere alla forza espansiva, ognor crescente, del vapore. Basti il dirvi che mentre il vapore alla temperatura di 100° centigradi ha la tensione di *un' atmosfera* (1), ai 153° ha la tensione di 5 atmosfere; a 200° la sua tensione è di 15 atmosfere, a 253 è di 40, a 266° è di 50 atmosfere. — Watt, se ben rammentate, aveva riconosciuto questa forza ognor crescente del vapore al crescere della temperatura, ne aveva intraveduta l'importanza, ma non ne aveva ricavato praticamente alcun vantaggio.

Nelle macchine di Watt, che son *macchine a condensazione*, la temperatura del vapore che muove lo stantuffo, supera di poco quella dell'acqua bollente; perciò quel vapore ha una tensione poco superiore a quella d'un'atmosfera. Il vapore che ha servito a spingere, ad esempio dall'alto al basso, lo stantuffo — supponiamo sempre che il cilindro sia ritto in piedi — passa nel condensatore, lasciando quasi vuota la capacità superiore del cilindro, non appena nuovo vapore giunto dalla caldaia va ad invadere la capacità inferiore del cilindro. Questo nuovo vapore, che dalla caldaia giunge nella capacità inferiore del cilindro, trova lievissimo ostacolo pel vapore molto

(1) Crediamo opportuno rammentare che in meccanica si dice *atmosfera* ogni forza che eserciti una pressione di chilogrammi 1,03 su ogni centimetro quadrato di superficie premuta. Ha tal nome poichè questa pressione è uguale a quella esercitata dall'atmosfera — al livello del mare — su tutti i corpi da essa investiti. Per analogia dicesi pressione di due, tre, ecc., atmosfere, la pressione eguale a due, tre, ecc., volte quella pressione che su un centimetro quadrato verrebbe esercitata da chilogrammi 1,03, così ad esempio quando si parla di una pressione di 8 atmosfere s'intende discorrere della pressione di otto volte chilogrammi 1,03, ossia chilogrammi 8,24 per ciascun centimetro quadrato di superficie premuta

rarefatto che ancor rimane nella capacità superiore del cilindro, ed obbliga lo stantuffo a salire. — Ma se, acceso un vivo fuoco sotto alla caldaia, impedite ogni fuga al vapore, questi andrà mano mano riscaldandosi ed acquisterà tensione ognor crescente, tensione che si potrà conoscere mercè un apposito strumento detto *manometro*, di cui vi daremo in seguito la descrizione. Ciò posto, supponiamo che la caldaia comunichi mediante due tubi — muniti ciascuno di robinetto — con le due capacità, superiore ed inferiore, d'un cilindro entro al quale può scorrere, a tenuta di vapore, uno stantuffo; — questo cilindro sia inoltre munito di due fori, l'uno verso un fondo, l'altro verso l'altro, destinati a mettere direttamente in comunicazione coll'atmosfera le due capacità del cilindro. Questi due fori che possono essere aperti o chiusi mediante robinetti, sieno chiusi. Or supponiamo che il manometro indichi che il vapore contenuto nella caldaia ha raggiunta la tensione di otto atmosfere: aprite i due robinetti e lasciate entrare il vapore in tutte due le capacità del cilindro; si muoverà lo stantuffo? No, certamente, poichè tutte due le sue facce subiscono la pressione di otto atmosfere; essendo eguali perfettamente le superfici di queste due facce, si l'una come l'altra subiscono l'identica pressione, e siccome nulla spinge lo stantuffo più da una parte che dall'altra, così lo stantuffo rimane immobile. Chiudiamo ora uno dei due robinetti, quello ad esempio che permetteva l'ingresso del vapore dalla caldaia nella capacità superiore del cilindro, ed apriamo quello presso al fondo superiore del cilindro. Il vapore contenuto in questa capacità superiore, trova aperta un'uscita, il vapore ne è felicissimo; sapete che ei reagisce costantemente quando è racchiuso; appena

trova un varco scappa come un debitore perseguitato dall'usciere.

In pochi istanti la capacità superiore, che racchiudeva vapore ad 8 atmosfere di tensione, non contiene più che vapore misto ad aria, il tutto dotato della tensione d'un'atmosfera soltanto. Mentre va diminuendo la tensione nel vapore racchiuso nella capacità superiore, il vapore racchiuso nell'altra capacità non se ne sta ozioso; continua a spingere dal sotto in su lo stantuffo; lo stantuffo premuto dal basso all'alto con la forza di 8 atmosfere e dall'alto al basso con la forza d'un'atmosfera sola, si muove come se fosse premuto dal basso all'alto con la forza di 7 atmosfere, come se la capacità superiore fosse perfettamente vuota. Giunto lo stantuffo al punto più alto della sua corsa, chiudiamo il robinetto per cui è entrato il vapore dalla caldaia nella capacità inferiore del cilindro, in pari tempo chiudiamo anche il robinetto per cui il vapore si è scaricato dalla capacità superiore del cilindro nell'atmosfera, ed apriamo gli altri due robinetti. Il vapore che ha spinto in su lo stantuffo, va a scaricarsi nell'aria, mentre nuovo vapore entra dalla caldaia nella capacità superiore del cilindro e spinge al basso lo stantuffo. Aprendo dunque e chiudendo a due a due quei robinetti, otterremo un movimento continuo di va e vieni nello stantuffo, movimento che, mercè il gambo, che sormonta lo stantuffo, potrà essere trasmesso al bilancere o ad altro organo analogo, che poi trasmetterà il movimento ai meccanismi che si vogliono far andare. Ecco spiegato come si può sopprimere il condensatore adoperando convenientemente il vapore ad *alta pressione*.

La prima idea di macchine ad alta pressione fu emessa verso il 1725 dal fisico tedesco Leupold

La *prima macchina di Leupold*, da esso intitolata *doppia macchina a fuoco per sollevar l'acqua mercè l'espansione secondo il sistema di Papin*, presenta molta analogia con la seconda macchina a vapore del fisico di Blois. Come Savery e Papin, così anche Leupold impiega il vapore a sollevar l'acqua fino ad un serbatoio dal quale essa si versa nei truogoli d'una ruota idraulica; il vapore che ha già servito passa direttamente nell'atmosfera.

La *seconda macchina di Leupold* è destinata, come la macchina di Newcomen, a mettere in movimento il gambo d'una pompa pel sollevamento delle acque.

L'unita fig. 31, ben poco diversa da quella data da Leupold nella sua opera, indica i principali elementi che compongono questa macchina.

A, è la caldaia in cui si genera il vapore; R ed S son due cilindri comunicanti or l'uno or l'altro con la caldaia a seconda della posizione del robinetto B. Questo robinetto è munito di quattro aperture disposte in tal modo che mentre il vapore passa dalla caldaia in uno dei due cilindri, il vapore precedentemente introdotto nell'altro cilindro, passa direttamente nell'atmosfera. Nella situazione rappresentata dalla figura, il cilindro R è ripieno di vapore che solleva lo stantuffo C, il cilindro S è spoglio di vapore, quello che vi era dapprima, è sfuggito nell'aria passando pel tubo M, grazie ad un canale convenientemente praticato nel robinetto B. Ciascuno dei due stantuffi C e D fa oscillare apposito bilanciere; lo stantuffo C fa oscillare il bilanciere H, lo stantuffo D fa oscillare il bilanciere G; questi due bilancieri mettono rispettivamente in movimento — mercè i gambi K ed L — due pompe prementi O o P. Queste attingono l'acqua da una cisterna N, la spingono entro ad un tubo ascendente Q dal quale essa si scarica in un serbatoio superiore T. Questa macchina contiene, come si vede, il principio delle moderne macchine ad alta pressione. Sembra che Leupold presagisse tutta l'importanza di questa sua invenzione, poichè dopo averla descritta, ei si esprime in questi termini.

« Questa macchina può essere costrutta in guisa che i robinetti si aprano e chiudano col solo gioco della macchina, io non entro in questi particolari e non descrivo neppure in qual modo si debba far entrare nella caldaia nuova acqua

a sostituirvi quella uscitane in forma di vapore; per ora io do un semplice schizzo, sarebbe necessario un profondo studio ed alquante esperienze. Avrei desiderato poter istituire un'esperienza su ampia scala per riconoscere se si potesse stabilire vantaggiosamente, con questo sistema,

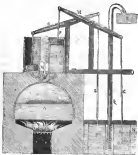



Fig. 31 MACCHINA A VAPORE DI LEUPOLD

una segatura in una foresta ricca d'acqua o di legna. Siccome però mi mancano il tempo e l'opportunità per eseguire tosto questa macchina ed altre esperienze e ricerche ecotose, così confido che essa possa trovare degli amatori che coglieranno l'occasione ch'io presento loro per imprendere qualche esperienza in proposito. »

Tuttavia il principio suggerito da Leupold passò inosservato. — Nella serie di esperienze istituite da Watt, questi riconobbe l'importanza che potevano avere, nell'impiego meccanico del vapore, i mezzi proposti da Leupold. In uno dei suoi brevetti, Watt fa menzione del progetto di costruir macchine nelle quali il vapore venga espulso subito dopo aver funzionato, ma neppur Watt mandò mai ad effetto questo proponimento.

XX.

Il petardo di Natale ed il fanciullo Oliviero Evans — Le macchine americane ad alta pressione — Renitenza degli inglesi ad adottarle — Le macchine di Cornovaglia.

L'onore d'aver costrutte e diffuse nell'industria le prime macchine ad alta pressione, spetta completamente all'americano Oliviero Evans, uomo dotato di profondo genio meccanico, che i suoi compatriotti ebbero il torto di sconoscere per lungo tempo.

La prima volta che l'attenzione d'Oliviero Evans si rivolse al vapore, fu in presenza d'un giuoco usato dagli abitanti del suo paese. In America i fanciulli si divertono — a quanto dicesi — a turare ermeticamente con un chiodo, il focone di una canna da fucile, versano poi dell'acqua nella canna, ne chiudono la bocca e quindi la espongono ad intenso fuoco. L'acqua contenuta nella canna si riscalda, produce vapore; e questo, pel continuo riscaldamento, acquista tanta tensione da cacciare il chiodo con violenta detonazione. Questo pericoloso trastullo — ch'io vi prego di non ripetere, se vi è cara la vita — lo dicono *petardo di Natale*. Ebbene, il 2 dicembre 1773 Oliviero

Evans, semplice operaio carradore dell'età di diciotto anni, fu testimonio, in una festa campestre, datasi presso a Filadelfia, sua patria, degli effetti dei petardi di Natale. Rinnovò poscia più volte quest'esperienza che gli rivelò la formidabile potenza di cui è dotato il vapor acqueo fortemente riscaldato. Evans ricercava già da gran tempo qualche forza motrice che non fosse quella del vento, delle molle o dei cavalli; la sua giovane imaginazione si infiammò ben presto all'idea di applicare il vapor acqueo come motore. — Ma non tardò guari a sapere che i meccanici avevano già tratto partito da questa forza motrice. La descrizione, capitatagli fra le mani, d'una macchina di Newcomen e la lettura di alcune operette sulle macchine a condensatore, lo misero in breve al corrente dello stato della scienza in quest'argomento.

Ei si stupì grandemente, ed a ragione, quando seppe che un mezzo, la cui potenza gli sembrava senza limiti, serviva semplicemente a produrre il vuoto: tentò per conseguenza di combinare nuove macchine nelle quali il vapore agisse solamente con la sua elasticità e sfuggisse nell'aria dopo aver esercitata la sua pressione sulla faccia d'uno stantuffo, nell'interno d'un cilindro. Costruì parecchi modelli di questo nuovo genere di macchine, nei quali il vapore agiva persino con la tensione di dieci atmosfere.

Applicando le sue idee sull'alta pressione, Oliviero Evans imaginò nel 1782 quegli ammirabili molini da farina, mossi dal vapore, dai quali gli Stati Uniti ricavarono, e ricavano anco al presente, sì grandi servigi. Di lì a non molto ei tentò di costruire, seguendo gli stessi principii, una carrozza mossa dal vapore.

Malgrado i suoi sforzi, perseverantemente continuati pel corso di più di vent'anni, Evans non riescì a far

adottare le sue idee. Riprese per conseguenza il corso de' suoi precedenti lavori, la costruzione di macchine a vapore, consacrandosi particolarmente a fabbricar macchine ad alta pressione Fondò a questo scopo grandi officine a Filadelfia, e suo figlio eresse a Pittsburg uno stabilimento consimile. I numerosi apparecchi che, da queste officine, si diffusero negli Stati Uniti, dimostrarono finalmente con tutta evidenza la verità, troppo a lungo contestata, delle asserzioni di Evans; e sebbene quest' entusiasta inventore esagerasse molto la potenza degli effetti dinamici del vapore ad alta pressione, pure si può dire che a lui solo spetta l'onore dei grandissimi servigi che le macchine ad alta pressione rendono oggidì all'industria ed alla civiltà.

Fig 39, OLIVIERO EVANS, FANCIULLO, FA

Ma il povero Oliviero non potè godere del prodigioso sviluppo che ebbe la sua invenzione. L'11 marzo 1819 un considerevole incendio ridusse in cenere il suo stabilimento di Pittsburg, e distrusse per più di centomila franchi di macchine. Questo disastro lo colpì sì dolorosamente che morì di dolore quattro giorni dopo.

… UN PETARDO DI NATALE NEL 1773.

Le macchine ad alta pressione ebbero da principio difficoltà ad introdursi in Europa. Durò per molti anni la lotta fra la macchina a condensazione, fabbricata nelle officine inglesi, e la macchina ad alta pressione d'origine americana. La macchina di Watt, creazione eminentemente nazionale, erasi per così dire identificata con l'industria della Gran Bretagna, la quale aveva impegnati in essa immensi capitali. Grave e

formidabile ostacolo codesto all'adozione delle nuove macchine americane. Tuttavia era impossibile sconoscere i vantaggi di quesli apparecchi, che si accontentano di risirettissimo spazio, sopprimono il grande ingombro prodotto dal condensatore e con meccanismo semplicissimo sviluppano straordinaria potenza.

I meccanici Trevithick e Vivian furono i primi ad introdurre in Inghilterra l'uso di macchine ad alta pressione. Incominciarono a costruirne alcune nel 1801; però queste macchine si diffusero in Inghillerra solo dopo il 1825, nel qual anno il costruttore Maudslay diede formà eleganle alle macchine in discorso sostituendo vantaggiosamente una biella articolata all'enorme bilancere di Watt, circostanza che migliorò tosto il credito delle macchine ad alta pressione. Nelle *macchine di Maudslay*, dette anche *macchine a biella articolata*, it gambo dello stantuffo è mantenuto in linea retta da un traverso, con articolazione mobile, che scorre fra due guide inflessibili.

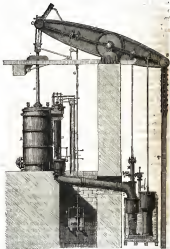
Accennata così brevemente la storia dette macchine ad alta pressione, completeremo ta nostra narrazione esponendovi i perfezionamenti, in verò straordinarii, che si introdussero — intorno al 1830 — nelle pompe a fuoco in Cornovaglia. Mentre Wolf ed i suoi successori modificavano profondamente la macchina a bilancere, introducendovi l'alta pressione e l'espansione su larga scala, mentre le macchine ad altra pressione cominciavano a diffondersi in Inghilterra e sul continente. — i costrultori di Cornovaglia, ed in particolare Trevithick, occupavansi a perfezionare la macchina di Watt a semplice effetto, che serviva allora, e serve anco at presente, nette miniere di Cornovaglia, ad estrarre le acque dal fondo delle miniere. Questi costruttori riescirono, mercè una serie di no-

tevoli invenzioni ed in particolare mercè un saggio impiego dell'espansione del vapore, a portare le loro macchine ad altissimo grado di perfezione.

Le macchine di Cornovaglia sono, in generale, ad effetto semplice ed a pressione media, alla pressione cioè di 3 a 4 atmosfere. Hanno dimensioni colossali; i cilindri misurano 2 a 3 metri di diametro, lo stantuffo ha una corsa di 3 a 4 metri; l'espansione si ottiene senza ricorrere al cilindro addizionale, ma nel corpo stesso dell'unico cilindro il vapore si espande fino ad occupare uno spazio dieci volte maggiore del primitivo. Si regola quest'espansione mercè una valvola a doppio ricoprimento ideata dai costruttori di Cornovaglia, la quale permette di aprire al vapore larghi orifici, e vien messa in movimento con debolissimo sforzo. Mercè la riunione di tutti questi perfezionamenti si giunse a ridurre il consumo di carbone, nelle macchine di Cornovaglia, ad un chilogramma per ora di lavoro e per cavallo di forza prodotta. Questo straordinario risultato accordò meritatamente un'immensa riputazione alle macchine di Cornovaglia.

La qui unita fig. 33 rappresenta l'insieme d'una di queste macchine. A è il cilindro nel cui interno il vapore, agendo a semplice effetto, mette in movimento lo stantuffo.

Il tubo H serve a mettere alternatamente in comunicazione con la caldaia — che non si può scorgere nella nostra figura — la capacità superiore e la capacità inferiore del cilindro, permettendo l'ingresso del vapore ora al disopra ed ora al disotto dello stantuffo, lo stesso tubo conduce poi, nel condensatore, il vapore che ha già servito, come vi abbiam spiegato (a pagina 76) nel descrivervi la teoria della macchina di Watt ad effetto semplice. Un lungo gambo G G congiunto al bilancere serve a manovrare le valvole idrauliche che regolano l'ammissione del vapore nell'interno del cilindro. Il regolatore idraulico è disegnato in P; K è il condensatore consistente

Fig. 33. MACCHINA DI CORNOVAGLIA.

in une capacità chiusa, immersa in un serbatoio contenente acqua fredde, che vi entra continuamente, mercè una pompa, e sostituir quelle riscaldatasi a contatto col vapore che, ad ogni oscillazione, esce dal cilindro. L è le *pompa ad aria* che serve ad estrarre continuamente dal condensatore quest'acque riscaldata; M è le pompa destinata all'alimentazione della caldaia, cioè ad introdurre nelle caldaie nuove acqua in sostituzione di quelle che, trasformate in vapore, entre continuamente nel cilindro e vi muove lo stantuffo, il cui continuo moto di ascese e discesa produce l'alternete ascesa e discesa del gambo BC, articolato in C al bilancere CE girevole intorno al perno D. Dall'eltra estremità E di quel bilancera discende una solida asta di legno, EF che imprime il necessario movimento di ascese e discesa elle pompe destineta all'estrazione dell'acqua dal fondo delle miniere.

Le macchine di Cornovaglia presentano nel loro meccanismo parecchie particolarità secondarie di grande interesse; ma qui basta l'averne data un'idea complessiva. L'annuncio dei risultati prodotti da questo potente apparecchio, nel quale si consuma soltanto un chilogramma di carbon fossile per cavallo-vapore e per ora di lavoro, produsse in tutta Europa una grande sensazione, e stimolò ovunque l'emulazione dei costruttori.

XXI.

PRINCIPALI ORGANI DELLE MACCHINE A VAPORE.

Le caldaie, i bollitori — Le incrostazioni terrose — I pericoli d'esplosione e gli apparecchi di sicurezza la valvola di Papin, i dischi fusibili, i manometri, gl'indicatori del livello dell'acqua, il galleggiante ed il fischietto d'allarme — L'alimentazione della caldaia e l'*injettore Giffard*. — Il *cavallo-vapore* e la furberia d'un birraio

Nell'esposizione delle invenzioni scientifiche, il metodo storico giova non poco alla chiarezza. Ma l'esposizione storica dev'essere poi completata con una descrizione generale degli apparecchi, nei quali si

compendia lo stato attuale dell'invenzione che si considera.

Dobbiam dunque ora far conoscere le varie disposizioni usitate al presente, per utilizzare nell'industria la potenza meccanica del vapor acqueo.

Descriveremo in questo capitolo i vari organi che son comuni a tutti i generi di macchine a vapore. In cominceremo a parlarvi della forma e delle disposizioni in uso nella costruzione delle caldaie, e quindi esamineremo gli apparecchi di sicurezza che servono ad indicare lo stato della pressione nell'interno delle caldaie stesse ed a prevenirne l'esplosione.

Caldaie. Nelle prime macchine a vapore, vale a dire in quelle di Savery e di Newcomen, si dava alla caldaia una forma semisferica, che è la forma più conveniente a meglio resistere alla pressione interna del vapore, ed è quindi la più propria contro il pericolo dell'esplosione che a quei tempi preoccupava in particolar modo i costruttori. Ma con l'andar del tempo, l'abitudine fece scemare il timore del pericolo e l'esperienza diede a conoscere, con tutta esattezza, la resistenza di cui è capace una lastra di metallo di dato spessore; allora si abbandonò la forma sferica, che, a pari volume d'acqua contenuta, presenta alla fiamma la minima superficie. Le caldaie di Watt erano concave verso il fondo, cilindriche superiormente, e verticali ai lati. La concavità nella parte inferiore della caldaia fu adottata da Watt allo scopo d'aumentare l'estensione della superficie esposta all'azione del fuoco.

Codesta disposizione è impiegata anco in oggi quando la tensione del vapore nella caldaia non debba superare le due atmosfere.

Ma ben diverse son le disposizioni usitate nella co-

struzione dei generatori che devono fornire vapore dotato di grande tensione: la quantità di vapore che può svilupparsi in un dato tempo entro ad una caldaia, non dipende che in piccola parte dalla capacità della caldaia e dalla quantità d'acqua contenutavi, ma dipende in particolar modo dall'estensione della superficie esposta all'azione del fuoco. Generalmente si ammette che un metro quadrato di superficie riscaldata possa fornire in media, nel periodo d'un'ora, 40 chilogrammi di vapore; qualunque sia la forma di codesta superficie. Da ciò si comprende come, per produrre rapidamente considerevole quantità di vapore, sarebbe mestieri assegnare alla caldaia una gran lunghezza mercè la quale si potrebbe esporre al fuoco tutta la superficie necessaria. Per ovviare a quest'incomoda lunghezza si costruiscono presentemente caldaie dette *a bollitori*, le quali si compongono di due caldaie sovrapposte, di grandezza diversa, comunicanti fra loro per grossi tubi verticali. Siccome i *bollitori*, vale a dire il complesso della caldaia inferiore, ricevono la prima azione del fuoco che altera in particolar modo il metallo, così è mestieri cangiarli di frequente, mentre la caldaia principale, non essendo esposta al fuoco, può durare lunghissimo tempo.

La figura 34 rappresenta una di queste caldaie. AA è il corpo della caldaia principale, BB uno dei due bollitori, CC i grossi tubi che stabiliscono la comunicazione fra ciascun bollitore e la caldaia principale. Convien notare che la caldaia è munita d'un secondo bollitore collocato parallelamente al primo e che perciò non può essere veduto sul nostro disegno.

La figura 35 vi mostra una caldaia a bollitori collocata nel suo fornello e munita di tutti i suoi accessori, tanto quelli relativi alla caldaia quanto ancora quelli relativi al fornello. Detta figura rappresenta una sezione longitudinale del fornello e quindi permette di vedere la caldaia nel senso della sua lunghezza. A (fig. 35) è il corpo della caldaia; BB, uno

dei bollitori; D, una parete orizzontale che abbraccia tutta l'estensione del fornello, all'altezza dei bollitori. Tre pareti verticali disposte longitudinalmente fra i tubi C, dividono in tre compartimenti lo spazio che rimane libero fra detta parete orizzontale e la parte inferiore del corpo della caldaia.

Fig. 34. CALDAIA PER MACCHINA A VAPORE.

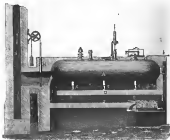



Fig. 35. CALDAIA A VAPORE, CON BOLLITORI, MONTATA SUL FORNELLO.

Vediamo ora quale sia l'andamento della fiamma che deve successivamente lambire tutte le parti della superficie esterna della caldaia. Uscendo dal focolaio E, la fiamma passa anzitutto nel condotto F, e si dirige dal fondo del fornello alla

parte posteriore della caldaia, di là, essa passa nel compartimento G, vale a dire al disotto del corpo principale della caldaia. Giunta all'estremità di questo condotto G la fiamma si divide in due parti e ritorna alla parte posteriore della caldaia, passando pei condotti laterali HH (vedi fig. 36). Uscendo poi da questi condotti la fiamma passa finalmente nel fumaiuolo L. Un registro M, equilibrato da un contrappeso, serve a chiudere od aprire, più o meno completamente, il tubo del fumaiuolo, e per conseguenza modera od attiva il tirante d'aria, vale a dire la chiamata d'aria necessaria ad alimentare la combustione.

La figura 36 mostra una sezione traversale della caldaia A e dei bollitori BH BH posti nel fornello G superiormente al focolaio F. Come si scorge da quest'ultima figura, l'acqua riempie i bollitori B B, i tubi verticali e gran parte della caldaia A; lo spazio residuo fra il livello dell'acqua nell'interno della caldaia e le pareti superiori di questa, dicesi *camera del vapore;* attivata la combustione nel fornello, quella *camera* si riempie a poco a poco di vapore; quando sia aperto apposito robinetto il vapore esce dalla caldaia, passa nel tubo *a* e va quindi ad agire nel cilindro per muovervi lo stantuffo.

Fig. 36. SEZIONE TRAVERSALE D'UNA CALDAIA A VAPORE.

Alle caldaie si assegna una lunghezza di cinque a sei e talvolta persino dieci volte il loro diametro; questo, in generale, non è maggiore d'un metro.

Quando la quantità di vapore ottenuta da queste caldaie, non fosse sufficiente per l'effetto meccanico che si vuol produrre, in luogo di aumentare il diametro della caldaia, si preferisce impiegarne parecchie. Caso che si verifica, come vedremo, nei battelli a vapore.

Le caldaie ed i bollitori possono essere costrutti in ferro fuso, rame, o ferro battuto. Adoperato nella costruzione delle caldaie, il ferraccio (ferro fuso) non fornisce buoni risultati e perciò lo si impiega ben di rado.

Le caldaie di rame ebbero un tempo la preferenza, ma lo spessore che, per resistere a determinata tensione di vapore, devono avere le lastre di rame — eguale a quello che avrebbero se fossero di ferro — aumenta di molto il loro costo, e perciò ora si impiega il rame solo per quelle caldaie che devono essere alimentate da acque contenenti principii molto corrosivi che distruggerebbero assai più rapidamente le lastre di ferro.

Per tali motivi, le caldaie si costruiscono quasi esclusivamente con lamiera di ferro. La grande tenacità del ferro ed il suo mite prezzo stabiliscono a favor suo ta preferenza, quando in particolare il combustibile non sia troppo solforoso e non possa quindi alterare, troppo presto, il metallo.

L'acqua mantenuta costantemente in ebollizione entro ad una caldaia, vi deposita in capo a pochi giorni — in conseguenza della successiva evaporazione — un sedimento terroso. Le acque, generalmente adoperate per alimentare le caldaie, tengono sempre in dissoluzione una quantità più o meno grande di sali terrosi formati d'una mescolanza di solfato di calce col carbonato di calce. L'acqua si evapora, ma i sali no, essi si depositano sulle pareti della caldaia. Ora, la presenza di questa crosta terrosa sulle pareti interne del generatore, presenta inconvenienti parecchi. L'interposizione di questa crosta impedisce il contatto immediato dell'acqua col metallo della caldaia, questa crosta ritarda la trasmissione del calorico, e

ne essorbe una parte. Esse può inoltre causere l'elterezione della caldaia, poichè la porzione coperta dalle crosta, non essendo bagnata dall'acqua, si riscalda enormemente e giunge a tal temperatura che il metallo si ossida e in breve si consuma. Ma non basta: la presenza di questi sedimenti è spesso sorgente di gravissimo pericolo — nientemeno che lo scoppio delle caldaia. Quando infatti, quest'inviluppo terroso si è formato sul fondo d'una caldaia, può accadere che per l'ineguale dilatazione che provano, per effetto del calore, la crosta terrosa ed il metallo da essa coperto, questa crosta venge ad un tratto a lacerarsi. In tal caso, l'acqua esistente nella caldaia si trova repentinamente a contatto con una superficie metallica riscaldata ed altissima temperatura; basta questa circostanza a produrre tosto enorme quantità di vapore, che non potendo essere contenuto entro alle pareti della caldaia, ne produce l'esplosione.

Bisognava, per tal motivo, pulire ad ogni quindici o venti giorni, l'interno delle caldaie per purgarle dalle incrostazioni terrose, ed aderendo queste tenacemente al metallo, era mestieri attaccarlo con strumenti d'acciaio. Questa operazione preservava, è vero, la caldaia dal pericolo dello scoppio, ma era tuttavia una causa di rapido deterioramento. Perciò convenne trovarci rimedio, ed il rimedio consiste nel non permettere la deposizione terrosa sulle pareti della caldaia. Si raggiunge lo scopo introducendo in mezzo all'acqua della caldaia, alcuni corpi estranei, sul quali vengono a depositarsi i sali calcari; tale è l'effetto prodotto dalle raschiature di patate e dalla crusce che, in molte officine, si mescola all'acque del generatore.

Siccome però questi corpi hanno l'inconveniente di far spumeggiare li liquido, che passa talvolta fin nel-

l'interno dei tubi che conducono il vapore, così in oggi si fa uso più frequentemente d'argilla stemprata nell'acqua la quale basta ad impedire le incrostazioni.

Si raggiunge lo stesso scopo collocando nella caldaia frammenti di vetro, ritagli di latta, di lamiera, di ferro, di zinco, i quali muovendosi continuamente in seno al liquido — agitato dalle bolle di vapore — e contro alle pareti del generatore, impediscono il depositarsi delle sostanze terrose.

Mercè questi vari artifici si impedisce ai sali terrosi di precipitarsi in strati continui ed aderenti, si ottiene invece un deposito fangoso che non aderisce menomamente alla caldaia. E così basta vuotarla di quando in quando per sbarazzarsene.

Apparecchi di sicurezza. I numerosi accidenti e le sciagure prodotte dalle esplosioni, altre volte troppo frequenti, di caldaie a vapore, destarono naturalmente tutta la sollecitudine dei meccanici. I vari apparecchi di sicurezza, saggiamente imposti dalla legge al costruttori, costituiscono uno dei sistemi più importanti di codesto macchine Vogliamo esaminarli con cura: ma prima crediamo opportuno spiegarvi le cause principali che producono il formidabile fenomeno dell'esplosione d'una caldaia.

È facile comprendere che se lo spessore delle pareti metalliche della caldaia è insufficiente a sopportare lo sforzo del vapore che tende ad espandersi, queste pareti — cedendo all'enorme pressione interna — si squerceranno ed il vapore fuggirà per la squarciatura. Ecco dunque una prima causa d'esplosione. Perciò il regolamento governativo che contempla la costruzione e l'impianto di macchine a vapore, stabilisce lo spessore che conviene assegnare alle pareti

metalliche d'una caldaie, a seconda della pressione, più o meno grande, che ei vuol far subire alle sue pareti.

Tuttavia l'esplosione non avviene quasi mei per poca resistenza nel metello. Nel maggior numero dei casi essa derivò del fetto, che alcune parti della caldaia, portate accidentalmente a temperatura elevatissima, si troverono tutt'a un tratto a contetto coll'acqua. Se, ad esempio, il livello interno dell'acqua nel generatore viene, per poca sorveglianza, ad ebbassarsi in modo che l'acqua non occupi che le metà od il terzo dell'altezza che vi dovrebbe occupare, le porzioni di metallo, lambite esternamente dalla fiamma del fornello, e non bagnate internamente, possono riscaldarsi tanto da diventar roventi; e se, per un ceso qualunque, una certa quantità di acqua va ellora a colpire codeste pareti roventi, l'esplosione della caldaia è inevitabile.

È inevitabile, per due motivi: il primo consiste nella improvvisa formazione d'una considerevole quantità di vapore che si genera pel contatto dell'acqua colle pareti metelliche eccessivamente riscaldate. Codesta quantità di vapore repentinamente formatasi — provocando tosto una pressione fortissima — produce sulla caldaia l'effetto d'un violento colpo di martello e determina per tal motivo la rottura della stessa; il secondo motivo si è il raffreddamento quasi istantaneo cui trovasi esposto il metallo rovente — pel suo improvviso contatto con la nnova acqua introdotta nella caldaia — raffreddamento che produce una modificazione molecolare nella costituzione fisica del metallo, pella quale ei diviene molto più fragile, cosicchè la rottura diviene più facile.

L'esplosione d'una macchina a vapore prodnce stra-

ordinari fenomeni meccanici, che non si saprebbero spiegare considerando la sola azione del vapore esistente nella caldaia all'atto della esplosione. Muraglie rovesciate, grosse travi slanciate a distanze considerevoli, la devastazione completa dell'officina, e tutte le scene strazianti di distruzione e di morte che accompagnano questo tremendo fenomeno, non potrebbero essere prodotte dalla sola espansione del vapore contenuto nella caldaia. Ma a questo si aggiunge una sorgente ancor più formidabile: l'improvvisa vaporizzazione della massima parte del liquido esistente nella caldaia nell'istante dello scoppio. Quest'acqua, mantenuta dall'energica pressione del vapore, a temperatura di gran lunga superiore a quella dell'ebollizione, trovandosi tutt'a un tratto — libera dall'interna pressione — a contatto coll'atmosfera, si vaporizza quasi tutta immediatamente; l'enorme quantità di vapore così prodottosi può cansare tutti i disastrosi effetti che troppo sovente ripetevansi, per mancanza di sufficiente esperienza, nei primordi delle macchine a vapore.

Gli apparecchi di sicurezza che servono a prevenire questi tremendi fenomeni, sono di due specie. Gli uni sono destinati ad evitare le pressioni troppo considerevoli che il vapore potrebbe acquistare: *la valvola di sicurezza, i dischi fusibili, il manometro* rispondono a quest'ufficio. Gli altri son destinati a regolare l'alimentazione della caldaia, per modo che l'acqua vi è mantenuta costantemente a conveniente livello.

La *valvola di sicurezza*, ideata da Papin nel 1681 pel suo digestore, che poi fu applicata da Désagnliers nel 1717 alla macchina di Savery, è un apparecchio ammirabile per la semplicità e l'efficacia della sua azione. È suo scopo il prevenire l'esplosione della caldaia, presentando un varco al vapore, non appena la

sua pressione supera, entro alla caldaia, i limiti cui potrebbe resistere il metallo.

Il principio su cui si fonda l'azione preservatrice di questo strumento è semplicissimo. Il vapore contenuto in una caldaia esercita, come è noto, egual pressione sopra tutti i punti delle pareti di quella caldaia. Praticando dunque un'apertura circolare, in un punto qualunque della superficie di una caldaia, e chiudendo poi esattamente quest'apertura mediante una piastra metallica mobile, questa piastra potrà venir spinta, dall'indentro all'infuori, dalla forza espansiva del vapore che riempie la caldaia. Caricando questa piastra mobile con un peso che corrisponda esattamente alla pressione cui quella piastra sarebbe soggetta quando il vapore giungesse nell'interno della caldaia a quel grado di tensione che non deve essere mai superato, la piastra sarà sollevata dal vapore non appena esso avrà raggiunta quella tensione massima prestabilita. Siccome poi i pesi da impiegarsi per tener compressa la piastra, sarebbero molti grandi e difficilmente maneggiabili, così non si collocano direttamente sulla piastra, ma si preme quest'ultima mediante una leva simile a quella della stadera: così un peso mediocre basta ad equilibrare le fortissime pressioni esercitate dal vapore.

La fig. 37 rappresenta la valvola di sicurezza. A è la valvola che chiude un tubo verticale comunicante con la caldaia, perciò la valvola A è premuta dal sotto in su dal vapore contenuto nella caldaia. Questa valvola è premuta, superiormente, nel punto D, da una leva CB, mobile mediante cerniera, intorno al punto fisso C. L'estremità B della leva è caricata d'un peso. Questo peso è calcolato in modo da esercitare sulla valvola una pressione eguale a quella ch' essa proverebbe per effetto del vapore quando la di lui forza elastica giungesse a quel tal grado che non deve essere mai superato.

Se, per una causa qualunque, il vapore giunge accidentalmente a questo grado pericoloso, avendo ormai la forza necessaria, solleva la valvola; il vapore scappa e va a perdersi nell'aria fino a che la pressione del

Fig. 37. VALVOLA DI SICUREZZA.

vapore, trovasi ricondotta, nell'interno della caldaia, entro al limite normale. Raggiunto questo limite, la valvola, premuta più dal peso B che dalla pressione interna del vapore, si chiude ed impedisce così una inutile perdita di vapore.

La figura 38 mostra la sola valvola di sicurezza, senza la leva premente che gravita sovr'essa onde mantenerla ferma sull'orificio praticato nella caldaia; da questa figura si scorge che la valvola si compone di tre alette salienti sormontate da un capitello che è propriamente il turacciolo.

Fig. 38.

Le dimensioni delle valvole di sicurezza — a seconda delle diverse pressioni cui possono trovarsi esposte le pareti delle caldaie — son fissate con tutto scrupolo da regolamenti governativi, i quali esigono inoltre che ogni caldaia sia munita di due di queste

valvole, l'una delle quali dev'esser sempre custodita a chiave affinchè il meccanico non possa alterarla (1).

La valvola a piastra mobile sarebbe un apparecchio irreprensibile per la comodità, la semplicità e la certezza della sua azione, se gli operai, incaricati della condotta delle macchine, non potessero troppo facilmente far scomparire d'un tratto, a lor capriccio, tutti questi vantaggi. Basta infatti aumentare il peso che chiude la valvola, per impedirla di aprirsi quando la pressione del vapore giunge, nell'interno della caldaia, a quel grado massimo che non dovrebbe mai essere superato. Supponiamo per esempio che il peso portato normalmente dalla leva sia di dieci chilogrammi, e che a questo si aggiunga un peso di due chilogrammi, il vapore non potrà più sollevare la piastra mobile se non quando la sua tensione nell'interno della caldaia sarà cresciuta di tanto, quanto è necessario per sollevare la leva carica del peso di dodici chilogrammi.

E gli operai incaricati della direzione delle macchine commettono bene spesso questa frode. Come i vetturini amministrano a furia le frustate sui poveri loro ronzini per superare alla corsa i loro rivali; così su fiumi o laghi molto frequentati da battelli a vapore, vedreste le gare dei macchinisti che trovandosi al fianco un battello concorrente e volendo precederlo, attaccano all'estremità della leva della valvola un peso, un martello, un pezzo di ferro qualunque, e in tal caso non si verifica il proverbio dei due litiganti: il terzo, che è il pubblico — pagante — corre un brutto rischio. È bensì vero che i regolamenti stabiliscono

(1) Non è permesso adoperare una caldaia a vapore senza averla prima esperimentata a fredda mediante uno strettoio idraulico, col quale si esercita sulle pareti della caldaia una pressione tripla di quella che dovranno poi sopportare. Questa prova dev'essere eseguita in presenza di delegati governativi.

che una delle due valvole sia circondata da una cassetta chiusa a chiave, ma questa saggia prescrizione non è sempre seguita.

Oltre alle valvole di Papin, le caldaie a vapore sono talvolta munite d'un apparecchio di sicurezza che si fonda sopra un principio di fisica ben diverso dal primo: quest'altro apparecchio, detto *piastra* o *disco fusibile*, è un disco di metallo che chiude ermeticamente un foro praticato in un punto qualunque della parete della caldaia. Questo disco è composto di una lega di stagno, bismuto e piombo uniti in tal proporzione che si fondono tostochè provano un grado di temperatura superiore a quella che ha il vapore quando ha raggiunta la pressione estrema che si vuol lasciar sopportare dalla caldaia.

L'ingegnoso principio su cui si fonda l'impiego di questi dischi fusibili merita d'essere riferito. La pressione esercitata dai vapore acqueo sulle pareti dei vasi che lo contengono, dipende dalla sua temperatura; le pressioni corrispondenti alle varie temperature di vapore, furono più volte determinate sperimentalmente con ogni precisione e quindi registrate in tabelle (1).

(1) La seguente tabella indica il rapporto che passa fra la temperatura del vapor acqueo, allo stato di *saturazione*, e la tensione di cui esso è dotato, tensione che traducesi nella pressione esercitata da quel vapore sulle pareti dei vasi che lo racchiudono

TEMPERATURA in gradi centigradi	TENSIONE in millimetri	TENSIONE in atmosfere
0	4,60	0,006
20	17,39	0,023
40	54,91	0,072
60	148,79	0,196
80	354,64	0,466
100	760,00	1,000
120	1491,28	1,962
140	2717,63	3,576
160	4651,62	6,120
180	7546,39	9,929
200	11688,96	15,380
210	14324,80	18,848
220	17390,36	22,882
230	20926,40	27,535

Da ciò si comprende come la nozione della temperatura di cui è dotato il vapore contenuto in una caldaia, sia sufficiente ad indicare la forza elastica posseduta da quel vapore; — sono due termini uniti fra loro in modo invariabile.

Mescolati adunque opportunamente alcuni metalli, si prepara una lega combinata in modo che entri in fusione a quella temperatura che non si vuol lasciar superare dal vapore (1). Si chiude poscia con una piastra composta di questa lega, un orificio preventivamente praticato nella parete della caldaia. Ciò posto, riescirà chiaro che non appena il vapore avrà superata la pressione normale stabilita dal costruttore, la piastra dovrà fondersi, poichè il vapore le avrà comunicata una temperatura superiore a quella corrispondente alla fusione della lega metallica costituente quella piastra: la caldaia si troverà dunque aperta, ed offrirà libero il varco al vapore sovrabbondante.

Fondate su fenomeni fisici della più rigorosa esattezza, le piastre fusibili sembrano offrire un mezzo sicuro per prevenire l'esplosione delle caldaie. Tuttavia l'esperienza ci dice che il loro impiego non va disgiunto, nella pratica, da gravi inconvenienti. Siccome le lega componente questa piastra, si rammollisce prima di liquefarsi, così quando la temperatura si avvicina a quel tal limite che corrisponde alla fusione della lega metallica, la piastra non presenta più la neces-

(1) Ecco ad esempio la temperatura di fusione di alcune leghe metalliche.

3 parti di piombo ed 1 di stagno fondono a 289°
1 » » 1 » » 241
1 » » 2 » » 196
1 » » 3 » » 186
1 » » 4 » » 189
2 » » 9 » e 1 di zinco 168
5 » » 3 » a 1 di bismuto 94

Isolatamente lo stagno fonde a 235°; il bismuto a 265°, il piombo a 335°.

sarla resistenza per opporsi allo sforzo sovr'essa prodotto dalla pressione interna del vapore, e perciò non è infrequente il caso che la piastra ceda ad una pressione del vapore, ancor lontana dai limiti preveduti. Si rimediò in parte a quest' inconveniente racchiudendo la piastra fusibile fra due tele metalliche a tessitura compatta, che, sostenendola, impediscono che si pieghi sotto la pressione del vapore.

Fig 39 FORNELLO, BOLLITORI ED INDICATORE DEL LIV

Un altro inconveniente più difficile ad evitarsi si è che la piastra fusibile, sebbene applicata alla parte superiore della caldaia, finisce coll' incrostarsi dei depositi provenienti dall' evaporazione dell'acqua. Questi depositi si attaccano alla superficie della piastra e la rivestono d'uno strato terroso che ritarda la trasmissione del calore ed im-

pedisce quindi che la piastra entri in fusione al momento opportuno.

Per ultimo, le piastre fusibili presentano un grave inconveniente economico. Quando il vapore racchiuso nella caldaia, superato il limite prestabilito, ha provocata la fusione della piastra, tutto il vapore che prima stava nella caldaia passa a poco a poco pel foro e va a perdersi nell'aria. L'esplosione è prevenuta, è vero, ma in pari tempo il moto della macchina è cessato, poichè la caldaia non ha più vapore da mandar nel cilindro. Conviene dunque applicare un'altra piastra fusibile, riempier di bel nuovo d'acqua la caldaia e riscaldarla. Aggiungi a ciò che in molti casi l'improvvisa cessazione della forza motrice non sarebbe disgiunta da inconvenienti gra-

...UA DELLA CALDAIA D'UNA MACCHINA A VAPORE FISSA.

vissimi: un battello a vapore correrebbe rischio assai grave se mentre è in vicinanza alla costa o sta per imboccare il porto venisse improvvisamente a mancargli la forza motrice.

In ciò sta il vizio capitale ed irrimediabile, degli apparecchi di sicurezza composti di metalli fusibili. La valvola di Papin ne è esente, poichè si chiude da sè non appena ha lasciato fuggire il vapore che colla sua forza elastica eccedente minacciava compromettere la durata dell'apparecchio; il vapore, ricondotto così alla tensione conveniente, continua a passare nei cilindri, e la forza motrice non cessa d'agire neppure un istante.

Causa di tutti questi incovenienti, le piastre fusibili sono oggidì abbandonate quasi completamente.

C'è tuttavia un'eccellente applicazione di esse, per impedire che la caldaia si abbruci quando per un caso qualunque si trova vuota d'acqua. Praticato un foro sul fondo della caldaia, proprio al di sopra del fornello, si chiude questo foro con un turacciolo di piombo o di lega fusibile. Se per un caso qualunque o per negligenza del meccanico la caldaia si trova quasi a secco; il turacciolo, non essendo più mantenuto a bassa temperatura dall'acqua che prima lo bagnava, si fonde tosto, allora la poca acqua rimasta nella caldaia o quella che vi si introducesse, esce pel foro e cadendo sul fornello vi spegne il fuoco.

Manometro. Il mezzo più certo, per prevenire i pericoli derivanti da aumento fortuito nella pressione del vapore, consiste nel poter sempre riconoscere lo stato preciso della tensione del vapore nell'interno della caldaia. L'apparecchio che serve a fornire continuamente al meccanico l'indicazione e la misura della pressione, che il vapore esercita nell'interno della caldaia, è detto *manometro*.

I manometri possono essere di varie forme. Quelli specialmente impiegati nelle macchine a vapore fisse si compongono d'un lungo tubo verticale di vetro, aperto alle due estremità; l'estremità inferiore è immersa in un serbatoio di mercurio; un tubo stabilisce una comunicazione continua fra questo serbatoio e la caldaia, perciò il vapor acqueo penetra nella capacità superiore di quel serbatoio ed esercita la sua pressione tanto sulle pareti quanto sul mercurio in esso contenuto. Quando la pressione del vapore non supera quella di un'atmosfera, il mercurio si mantiene nel tubo allo stesso livello del mercurio contenuto nel serbatoio; poichè, il tubo essendo aperto superiormente, l'aria atmosferica esercita, sul mercurio circondato dal tubo, pressione eguale a quella che il vapore della caldaia esercita sul mercurio del serbatoio. Non appena il vapore acquista tensione superiore a quella dell'atmosfera, preme con maggior forza il mercurio contenuto nel serbatoio; allora questo mercurio, premuto più dal vapore che dall'aria atmosferica, sale nel tubo. E, pei motivi già esposti quando parlammo della pressione atmosferica, si dice che il vapore ha nella caldaia la pressione di due atmosfere quando il mercurio è salito nel tubo all'altezza di 76 centimetri — (il lettore si rammenti che il tubo essendo aperto superiormente, l'atmosfera continua ad esercitare la sua pressione sul mercurio, e con questa pressione equilibra una delle due atmosfere di tensione di cui è dotato quel vapore); — e si dice che quel vapore ha la pressione di tre atmosfere, quando il mercurio si è portato all'altezza di due volte 76 centimetri, ossia quando ha raggiunta l'altezza di metri 1,52; e così via.

Il manometro così impiegato, senza alcun artificio,

sebbene fornisca indicazioni rigorosissime, riescirebbe tuttavia incomodo nella pratica. Per indicare pressioni di cinque o sei atmosfere, il mercurio dovrebbe salire a livello molto alto, perciò il meccanico non potrebbe scorgere a colpo d'occhio codesto livello. Per ovviare a questa difficoltà si colloca un piccolo galleggiante sul mercurio del tubo, a questo galleggiante si lega un filo che passa sopra una puleggia e porta un contrappeso. Al variare del livello del mercurio nel tubo, varia anche la posizione del galleggiante, ed il contrappeso si muove evidentemente in senso contrario al galleggiante, il quale può essere scorto comodamente dal macchinista. Una scala graduata, posta di fianco al tubo, indica le variazioni nella pressione interna del vapore, espresse in atmosfere. La figura 40 rappresenta codesta disposizione che si comprende tosto: *a* è il tubo di comunicazione con la caldaia, *b* il serbatoio del mercurio, *c* il galleggiante cui è raccomandata un'estremità del filo che, all'altra estremità, porta il contrappeso *c*.

Fig. 40. Manometro ad aria libera.

Per le macchine ad alta pressione questo manometro dovrebbe essere altissimo, e malgrado l'impiego del galleggiante, riescirebbe d'uso incomodissimo; aggiungi poi che essendo il tubo aperto superiormente, si perderebbe il mercurio ogni qualvolta il suo livello dovesse salire più alto del tubo. Un manometro ben più

comodo ideato dal signor Bourdon, è oggidì usitatissimo, specialmente nelle macchine ad alta pressione. Esso è quel quadrante munito d'un indice che vedete sulle locomotive e che forse forse — colpa la distanza — taluno di voi avrà scambiato con un orologio.

Il *manometro a spirale metallica* di Bourdon è fondato sul seguente fenomeno fisico: se, preso un sottil tubo metallico — a sezione ellittica — avvolto a spira, lo mettete in comunicazione col vapore contenuto in una caldaia; il vapore penetra nel tubo, e in virtù della pressione di cui è dotato, tende a raddrizzare il tubo tanto più quanto più è forte questa pressione. Ecco dunque che adattando un indice all'estremità libera di questa spirale, l'indice segnerà sopra un quadrante — previamente graduato — i gradi di allungamento del tubo corrispondenti alla pressione del vapore.

Fig. 41. MANOMETRO METALLICO DI BOURDON.

La figura 41 rappresenta appunto il manometro di Bourdon. Il vapore giunto dalla caldaia — traverso il tubo che, nella nostra figura sta alla sinistra, — nell' interno d' una spirale cava, ne preme le pareti, la gonfia; diminuisce quindi lo schiacciamento della sezione traversale del tubo. Questi tende a raddrizzarsi e perciò la sua estremità, cui è applicato un indice, si sposta e si allontana tanto più verso destra quanto

più forte è la pressione del vapore. Quell'indice, percorrendo il quadrante graduato, segna la pressione del vapore nella caldaia, espressa in atmosfere e frazioni d'atmosfera.

Siccome poi il metallo del tubo, espandendosi continuamente in un ambiente molto caldo, potrebbe subire tali modificazioni molecolari da renderne erronee le indicazioni, così è prudente assicurarsi di tempo in tempo del buono stato e dell'esatta sensibilità di quest'apparecchio.

Son questi gli apparecchi di sicurezza che servono a rendere attento il meccanico del pericolo che potrebbe derivare dall'aumento accidentale della pressione del vapore. Ora esamineremo gli apparecchi che si adoperano a prevenire i mali che risulterebbero da un'interruzione nell'alimentazione della caldaia, e questi sono: gli *indicatori del livello dell'acqua* ed *i galleggianti*.

Il più semplice ed il più utile fra gli *indicatori del livello dell'acqua* è un tubo di vetro posto sulla fronte della caldaia e comunicante, per entrambe le sue estremità, con l'interno della stessa. Un liquido, versato in tubi comunicanti, giunge allo stesso livello, nei singoli tubi, così l'acqua si alza e si mantiene nel tubo di vetro, allo stesso identico livello che ha nella caldaia, livello che il meccanico può sempre vedere a colpo d'occhio attesa la trasparenza del vetro. Ma non vi ha rosa senza spine: il vetro è trasparente ma è pur fragile, quindi convien pur prevenire il caso frequente che per un motivo o per l'altro questo tubo si spezzi: come potrebbe allora regolarsi il macchinista se non ha più il mezzo di conoscere a qual livello giunge l'acqua nella caldaia. Ce n'è tanta o poca? A questa domanda rispondono tre robinetti applicati l'uno sull'altro, a brevi intervalli, sulla fronte della caldaia. Il

robinetto di mezzo corrisponde all'altezza cui dovrebbe normalmente mantenersi l'acqua nella caldaia, e perciò aprendolo si dovrebbe vederne uscire acqua mista a vapore; aprendo il robinetto superiore dovrebbe escirne solo vapore; aprendo il robinetto inferiore dovrebbe escirne soltanto acqua. Avete già compreso che se il livello dell'acqua è troppo basso, quest'ultimo robinetto lascerà fuggire vapore e il macchinista, che così se ne accorge, introdurrà l'acqua mancante nella caldaia; se invece escirà acqua dal robinetto più alto, vorrà dire che ce n'è più del bisogno.

Il *galleggiante* poi è un corpo galleggiante sull'acqua della caldaia, sormontato da una verghetta metallica che traversa a tenuta di vapore ed a dolce sfregamento la parete superiore della caldaia. Quando l'acqua si abbassa, si abbassa pure il galleggiante e con esso la verghetta, e viceversa. L'estremità della verghetta si muove parallelamente ad una tabelletta graduata; osservando dunque a qual graduazione corrisponde la sommità della verghetta, il macchinista giudica a colpo d'occhio dell'altezza dell'acqua nella caldaia.

E se il macchinista è distratto o si addormenta, dovremo per sua colpa subire una esplosione? La macchina non può far miracoli, tuttavia avverte in tempo l'incauto e dà il grido d'allarme mandando un fischio sonoro e prolungato mercè un ingegnoso apparecchio detto *galleggiante d'allarme*, che vedete rappresentato dalla figura 42.

Un galleggiante A è fissato all'estremità d'una leva a gomito ABC, giravole intorno al perno B, l'altra estremità della leva, porta un contrappeso C. Quando il livello dell'acqua si mantiene all'altezza conveniente nell'interno della caldaia, questo galleggiante preme — per l'intermezzo della leva

— il turacciolo conico *a* contro l'apertura inferiore del tubo verticale *b*; ma se per difetto d'alimentazione nella caldaia, l'acqua vi si abbassa, il galleggiante si abbassa anch'esso e quindi si abbassa anche il turacciolo *a*; allora il vapore, trovando una uscita, penetra nel tubo *ab* che, superiormente, termina in una diramazione anulare *cc*; questo vapore, escenta con gran forza dal foro anulare, si trova di fronte al campanello metallico *d* e lo fa vibrare. Codesta vibrazione produce

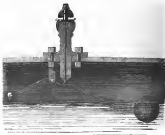



Fig. 42. GALLEGGIANTE E FISCHIETTO D'ALLARME.

quel fischio ben noto a quanti lo udirono pur una volta, fischio diventato ormai simbolo di progresso — o per lo meno di strada ferrata.

Tante precauzioni per mantenere regolare e costante l'alimentazione del generatore, potrebbero sembrare superflue, considerando che quest'alimentazione succede in modo continuo, mercè una pompa messa

in movimento dalla stessa macchina e che le dimensioni di questa pompa son già calcolate in guisa da introdurre continuamente nella caldaia tanta acqua quanta, di continuo, ne esce trasformata in vapore, dopo aver agito nell'interno del cilindro motore. Ma il giuoco di questa pompa può guastarsi, e tutti i mezzi che, come abbiam' detto, sono a disposizione del meccanico, per riconoscere il livello dell'acqua, gli servono appunto per giudicare se la pompa funziona con la necessaria regolarità. Quando il meccanico vede che c'è troppa acqua in caldaia, egli arresta il movimento della pompa alimentare, sia staccando l'asta per mezzo della quale la pompa riceve il movimento dal bilancere, sia chiudendo un robinetto applicato al tubo d'aspirazione; ristabilisce poi il movimento della pompa quando il livello dell'acqua sta per discendere sotto alla linea normale appositamente tracciata sull'esterno della caldaia.

In questi ultimi anni si diffuse nell'industria un nuovo ed ingegnosissimo apparecchio d'alimentazione, per le caldaie a vapore, in sostituzione delle pompe aspiranti-prementi, esclusivamente dapprima impiegate. Questo nuovo apparecchio, che inietta l'acqua nell'interno della caldaia, è detto *iniettore Giffard* dal nome del suo inventore.

« Il principio fondamentale (1) che serve di base a quest'apparecchio, è semplicissimo. Facendo entrare un getto di vapore, animato da grande velocità, in un tubo pieno d'aria, quel vapore in virtù della grande velocità di cui è dotato, trascina seco l'aria contenuta nel tubo come la palla lanciata con forza trascina seco il birillo ch'essa trova sul suo passaggio; e se il getto di vapore continuerà a percorrere il tubo, nuova aria

(1) Vedi PARVILLE, *Découvertes et Inventions modernes*, Paris, 1866

penetrerà costantemente in esso a sostituirvi quella espulsa dal vapore; in altri termini si produrrà una chiamata d'aria simile a quella che, come diremo a suo tempo, attiva la vivace combustione nei fornelli delle locomotive. Imaginiamo ora che da quel tubo, che supporremo orizzontale, discenda verticalmente un secondo tubo, immerso, con la sua parte inferiore, in un serbatoio d'acqua. Quando tutta l'aria, grazie al getto di vapore, sarà stata espulsa dal tubo, l'acqua del serbatoio verrà alla sua volta aspirata nel tubo verticale, penetrerà nel tubo orizzontale, e verrà espulsa anch'essa dal getto di vapore, e come prima si aveva un getto continuo d'aria, ora si avrà un getto continuo di acqua. Questo è brevemente il fondamento dello iniettore Giffard. Un getto di vapore, proveniente dalla caldaia, entra nel tubo, scaccia l'aria occupante il tubo orizzontale, aspira per quella contenuta nel tubo verticale, ed avendo così provocata una notevole rarefazione in que' due tubi, l'acqua del serbatoio si slancia nel tubo verticale, passa nel tubo orizzontale, animata da tanta velocità quanta ne abbisogna a vincere la resistenza opposta dalla pressione del vapore racchiuso nella caldaia e penetra finalmente in quest'ultima.

A primo aspetto riesce difficile il comprendere come un getto di vapore, dotato di determinata tensione, possa spingere un getto continuo d'acqua entro ad una caldaia ripiena di vapore dotato d'identica tensione. Due forze eguali non si equilibrano forse? — Nessuno lo nega, ma il fenomeno cui è dovuta la potenza dell'iniettore Giffard non appartiene alla statica, appartiene invece alla dinamica.

La forza che si oppone all'ingresso dell'acqua nella caldaia è effettivamente eguale a quella che la obbliga ad entrarvi; ma in tal caso l'acqua può essere paragonata ad un mobile lanciato da forza che agisce sovr'esso in modo continuo per un certo periodo di tempo e gli imprime quindi

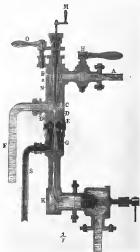
una certa velocità. L'acqua salita nel tubo orizzontale, riceve e conserva, nella sua massa, una forza viva superiore alla forza di propulsione, ed è perciò che quell'acqua può vincere la resistenza che incontra e può penetrare nella caldaia ripiena di vapore.

La figura 43 rappresenta l'iniettore Giffard, ridotto alla forma più semplice: il vapore sviluppatosi nella caldaia D, esposta al fuoco, ascende nel tubo a gomito A M, giunge in B (vedi il particolare nella figura a sinistra) ed esce da un tubo conico E. Il vapore, nell'attraversare il tratto B E, con

Fig. 43. PRINCIPIO FONDAMENTALE DELL'INIETTORE GIFFARD.

la considerevole velocità di cui è animato, sceccia l'aria e quindi produce un'aspirazione nel tubo discendente C che pesca in un serbatoio d'acqua fredda F, quest'acqua fredda determina la condensazione di parte del vapore che riempie il becco o tubo conico B, provoca quindi un vuoto parziale e determina una nuova chiamata di vapore dalla caldaia D, questo nuovo vapore spinge innanzi l'acqua salita pel tubo C e la spinge con forza nella caldaia.

La figura 44 rappresenta l'iniettore Giffard nei suoi più minuti particolari: A è il tubo comunicante con la caldaia, H un robinetto che è tenuto aperto o chiuso quando, rispettivamente, si vuol stabilire o sospendere l'alimentazione della caldaia; N è un turacciolo conico che si solleva nel primo

Fig. 44 INIETTORE GIFFARD

caso e nel secondo si abbassa, girando il manubrio M; F è il tubo comunicante col serbatoio contenente l'acqua destinata all'alimentazione della caldaia: K ed L sono due tubi — l'uno in continuazione dell'altro — che conducono quest'acqua nell'interno della caldaia. — Per quanto si è già detto, si comprenderà facilmente che quando il robinetto H è aperto ed il turacciolo N è sollevato, il vapore uscito dalla caldaia, pel tubo A, tenterà di uscire per l'apertura conica C, provocherà l'aspirazione dell'acqua nel tubo F, questa penetrerà nella camera *b* e di là, pel tubo di scarico E K giungerà in faccia alla valvola V — che cede alla pressione preponderante — la aprirà e si dirigerà nel tubo di alimentazione L.

Vi diremo ancora — per finirla colla descrizione generale della macchina a vapore — perchè e come si valuti in *cavalli* la forza delle macchine.

La prima macchina a vapore che Watt cedette all'industria doveva funzionare in una birreria e far le veci d'un maneggio — mosso fin allora da cavalli — destinato a sollevar l'acqua. Il birraio voleva ottenere dalla macchina lo stesso effetto che gli producevano i suoi cavalli — e fin qui aveva ragione; — propose dunque a Watt di far lavorare un cavallo durante una giornata d'otto ore e di basare poi il calcolo del *cavallo-vapore* sul lavoro utile eseguito, che, in questo caso, consisteva nel prodotto della quantità di acqua sollevata in fin della giornata pella differenza di livello fra il serbatoio inferiore ed il serbatoio superiore. Watt accettò l'offerta; il birraio allora — e qui ebbe torto — prese il più robusto fra i suoi cavalli (e pare che i cavalli dei birrai di Londra sien tutti robustissimi) lo fece lavorare le otto ore convenute e non risparmiò le frustate, ben sapendo che nessun cavallo al mondo avrebbe durata tanta fatica per più giorni di seguito. Ad ogni modo, misurato il lavoro, si riconobbe che quel povero cavallo aveva sollevati 2,120,000

chilogrammi d'acqua, all'altezza d'un metro, nelle 8 ore convenute, il che, proporzionalmente, corrisponde a circa chilogrammi 73,6 innalzati ad un metro d'altezza in un minuto secondo.

Ed ora si dà il nome di cavallo-vapore alla forza necessaria a *sollevare chilogrammi 75 ad un metro d'altezza in un minuto secondo*, od a produrre altro lavoro a questo equivalente. E così una macchina a vapore si dice della forza di dieci cavalli quando è atta a produrre un lavoro equivalente al sollevamento, in un minuto secondo, di 750 chilogrammi all'altezza d'un metro, o, ciò che torna lo stesso, di 75 chilogrammi a dieci metri d'altezza.

Ma convien poi notare che questa quantità di lavoro è di gran lunga superiore a quella prodotta ordinariamente dai cavalli, i quali, quando non sieno orrendamente maltrattati, lavorando in condizioni ordinarie, producono in un minuto secondo un lavoro rappresentato dal sollevamento di circa 28 chilogrammi all'altezza d'un metro. Dunque un cavallo-vapore sarebbe equivalente al lavoro di quasi tre cavalli; aggiungi poi, che dopo otto ore bisogna cambiar cavalli, mentre la macchina non si stanca mai.

XXII.

CLASSIFICAZIONE DELLE MACCHINE A VAPORE.

Macchine a bassa, media ed alta pressione, con condensatore e senza condensatore, a semplice e a doppio effetto, a moto rettilineo alternato ed a moto circolare continuo. — Macchine stazionarie, locomobili, portatili, locomotive, macchine di navigazione. — Macchina di Watt a bassa pressione con condensatore. — Il *cassetto* di distribuzione del vapore. — Macchina ad alta pressione senza condensatore. — Macchina a cilindro orizzontale. — Macchina a cilindro oscillante. — Pompa e maglio a vapore. — Macchine a gran velocità. — La macchina Allen. Consigli relativi alla scelta d'una buona motrice.

Passeremo ora ad esporvi la *classificazione delle macchine a vapore* e la succinta descrizione dei *vari sistemi* di macchine a vapore maggiormente in uso al presente.

La classificazione delle macchine a vapore (1) dipende: 1.° dal grado di pressione che il vapore deve normalmente raggiungere in esse; 2.° dall'esservi o no il condensatore; 3.° dall'impiego del vapore sopra una faccia sola ovvero su tutte due le facce dello stantuffo motore; 4.° dalla specie di movimento prodotto dalla macchina, ed infine 5.° dal genere di servizio cui questa macchina è destinata.

A seconda del grado di pressione si distinguono le *macchine a bassa, a media e ad alta pressione*. Diconsi *a bassa pressione* quando la pressione esercitata dal vapore sulla faccia dello stantuffo, supera di poco la pressione atmosferica. Queste macchine sono necessariamente fornite di condensatore, sono

(1) Vedi Cavallero, *Corso di letture tecniche normali sulle macchine motrici*, Torino, 1867, a pag. 136 e seguenti.

quindi *macchine a condensazione*, poichè il vapore — attesa la debole pressione con cui agisce in queste macchine — non potrebbe scaricarsi rapidamente nell'atmosfera, dopo aver provocata l'oscillazione dello stantuffo motore, come pur sarebbe necessario se non vi fosse il condensatore. Diconsi *a media pressione* quando il vapore esercita una pressione equivalente a quella di due o tre atmosfere. Nelle macchine ad *alta pressione* il vapore raggiunge, e talvolta supera, la pressione corrispondente a dieci atmosfere. Si le macchine ad alta, come quelle a media pressione, possono essere provvedute o no di condensatore, possono utilizzare o meno l'*espansione del vapore*. Le più economiche fra queste sono le macchine ad alta pressione, con lungo periodo di espansione, provvedute di condensatore. Tuttavia l'uso speciale a cui la macchina è destinata, o determinate circostanze locali, suggeriscono, a seconda del caso, l'impiego d'una o d'altra macchina a vapore delle altre classi.

Una *macchina* a vapore dicesi *a semplice effetto* quando il vapore acqueo agisce sopra una sola delle due facce dello stantuffo; in tal caso, l'oscillazione inversa dello stantuffo è provocata da contrappesi o dalla pressione atmosferica.

Dicesi invece *a doppio effetto* quando il vapore preme alternatamente or l'una or l'altra faccia dello stantuffo. La massima parte delle macchine a vapore impiegate nell'industria sono a doppio effetto; quelle a semplice effetto sono impiegate con gran vantaggio solamente in casi speciali: per animare le pompe destinate all'estrazione dell'acqua, per sollevare i grandi magli nelle officine metallurgiche o per mettere in movimento qualche altra macchina-utensile.

Le macchine a vapore possono essere a moto *ret-*

tilineo alternato o *a moto circolare continuo*. Sono animate di movimento rettilineo alternato, quelle che pongono in movimento le pompe e i magli a vapore summenzionati; sono a moto circolare continuo quelle impiegate a far andare i battelli, le locomotive ed i vari organi operatori nella più gran parte degli stabilimenti industriali.

Per ultimo le *macchine a vapore* possono essere *fisse* o *stazionarie*, *portatili*, *locomobili*, *locomotive* e di *navigazione*. Macchine *fisse* son quelle collocate in modo stabile nelle officine e nelle manifatture; *locomobili* son quelle montate sopra un carro a quattro ruote, che possono essere quindi agevolmente trasportate da luogo a luogo. Le macchine *portatili*, dette pure *semifisse*, diversificano dalle locomobili poichè in luogo d'essere portate da un carro a ruote, vengono semplicemente montate sopra un sostegno portatile. Le locomotive e le macchine per la navigazione sono impiegate per rimorchiare carichi lungo le ferrovie e sulla superficie delle acque, trasportando in pari tempo sè medesime.

Passiamo ora ad esaminare partitamente alcune di queste macchine.

La figura 45 rappresenta una *macchina a bassa pressione con condensatore*, è un'elegante macchina di Watt, quale si costruisce presentemente.

Avvertiamo, che per maggior chiarezza le parti cave della macchina sono sezionate, si vedono cioè come comparirebbero all'occhio se fossero dimezzate con un piano verticale. La figura non mostra la caldaia; dopo quanto si è già detto, ogni lettore potrà ammettere che il vapore generatosi in una caldaia simile a quella raffigurate a pag. 176 passi in un tubo che vada a finire nel tubo B. Quando sia aperta la valvola regolatrice C, il vapore, giunto pel tubo B attraverse una capacità E C entro alla quale scorre in su ed in giù un appa-

recchio speciale, detto *cassetto;* il cassetto obbliga il vapore, proveniente come abbiam detto, dalla caldaia, a passare ora nella capacità superiore, ora nella capacità inferiore del cilindro A. Con la disposizione indicata nella figura, il vapore affluisce nella capacità inferiore del cilindro e perciò solleva lo stantuffo F. Questo stantuffo è sormontato da una verga o gambo R, di metallo inflessibile, che, grazie alla *scatola stoppata* X, attraversa, a tenuta di vapore, il coperchio del cilindro. Il gambo R si solleva in linea retta, ma in virtù del parallelogramma articolato T S W U, questo movimento rettilineo del gambo si trasforma in movimento circolare e l'estremità S del bilanciere S O ascende anch'essa, descrivendo un arco di cerchio. Questo bilanciere S O, sostenuto dalle due svelte colonnine che occupano il mezzo della nostra figura, può oscillare intorno al suo punto di mezzo, perciò all'ascesa dall'estremità S del bilanciere corrisponde la discesa dell'altra estremità O alla quale è congiunta, con articolazione, la verga rigida P, che dicesi *biella;* l'abbassamento dell'estremità O provoca necessariamente anche l'abbassamento della biella P e quindi anche della *manovella* Q che ad un'estremità è articolata alla biella ed all'altra estremità è fissata ad un albero, od *asse*, sul quale è impernata la gran ruota V — detta *volante* — che perciò incomincia a muovere circolarmente. Come abbiam detto a suo tempo (a p. 139) il volante ha l'ufficio di moderare il movimento della macchina quando è troppo rapido e di accelerarlo, per qualche tempo, quando fosse troppo lento. Frattanto lo stantuffo F, spinto dal vapore, sarà giunto fino in sommità del cilindro. Il vapore che occupava la capacità superiore del cilindro è passato nel condensatore, grazie all'ingegnosa disposizione del *cassetto.* Ma mentre lo stantuffo F sta per giungere al punto più alto del cilindro A, il *cassetto* — che è mosso automaticamente dalla macchina, come diremo fra non molto — si è abbassato, ed ha permesso al vapore, che continua ad affluire dalla caldaia, di passare nella capacità superiore del cilindro; la nuova posizione del cassetto permette in pari tempo al vapore, che occupava la capacità inferiore del cilindro, di scaricarsi nel condensatore. — Per non complicare la figura non si è disegnato il tubo che conduce nel condensatore il vapore che ha già funzionato ora nella capacità superiore, ora nella capacità inferiore del cilindro A; però

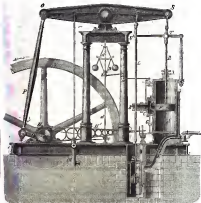



Fig. 45. MACCHINA A VAPORE CON CONDENSATORE.

A cilindro a vapore, F stantuffo, X scatola stoppata, R asta dello stantuffo, STUW parallelogramma articolato, SO bilancere, P biella, Q manovella, V volante, H eccentrico, H' asta dell'eccentrico, G asta del cassetto di distribuzione, B tubo del vapore proveniente dalla caldaia, C valvola regolatrice, E scatola di distribuzione, D regolatore a forza centrifuga, b anello mobile, aa leva a gomito, I condensatore, J pompa ad aria, K tubo per l'ammissione d'acqua fredda nel condensatore, N robinetto regolatore, M pompa alimentare.

il lettore con la scorta delle figure 46 e 47, che descriveremo fra breve, potrà chiarirsi del come il vapore, che ha già servito, passi nel condensatore I, nel quale penetra continuamente, traverso il tubo K, una corrente d'acqua fredda; l'ingresso di quest'acqua è regolato da un robinetto N. La *pompa ad aria* J, destinata a sollevare tanto l'acqua proveniente dalla condensazione del vapore quanto l'acqua riscaldatasi nel condensatore — per l'enorme quantità di calore sviluppato da quella condensazione — è messa in movimento dalla verga rigida L' che si stacca ad articolazione dal punto di mezzo del lato U W del parallelogramma articolato; per tal guisa il movimento circolare alternativo del bilanciere provoca un movimento rettilineo alternato di ascesa o discesa nel gambo L' che, come abbiam detto, anima lo stantuffo della pompa aspirante J. Dall'altro lato del bilanciere si stacca un'altra verga destinata a mettere in movimento una seconda pompa, la *pompa alimentare* M, che attinge acqua calda dal condensatore e la caccia entro alla caldaia a sostituirvi quella che, trasformatasi in vapore, penetra continuamente ora nella capacità superiore, ora nella capacità inferiore del cilindro, provocando rispettivamente la discesa o l'ascesa dello stantuffo motore F.

Mentre ci siam fermeti ad esaminare i vari particolari della macchina, questo stantuffo non è rimasto immobile, ma si è abbassato pel vapore sopraggiunto nella capacità superiore del cilindro; si è poi rialzato per altro vapore introdottosi nella capacità inferiore — nel mentre il vapore che occupava la capacità superiore del cilindro, è passato nel condensatore — e così lo stantuffo ha continuato a muoversi di moto rettilineo alternativo ed ha impresso definitivamente un moto circolare alternativo alle estremità S ed O del bilanciere — moto circolare alternativo che mercè la biella P e la manovella Q si è trasformato in moto continuo di rotazione del volante V imperniato sull'asse cui è congiunta la manovella Q. Ottenuto questo moto rotatorio continuo riesce facilissimo, a qualsiasi meccanico, di utilizzarlo come meglio gli talenta per far andare un'industria qualsiasi. Per completare la descrizione vi rammenteremo che all'asse del volante è raccomandata una fune continua che imprime analogo movimento rotatorio ad un piccolo asse orizzontale sul quale è impernata una piccola ruota dentata *c*, questa ruota den-

tata *c* ingrana nei denti d'un rocchetto conico fissato stabilmente al piede della verga rigida *dd*, girevole intorno a due perni, l'uno al piede, l'altro alla sommità. Quando il movimento della macchina è troppo rapido, la verga *dd* gira assai rapidamente sopra sè stessa e provoca l'allontanamento delle due palle metalliche D, (vedi quanto abbiam già detto in proposito a pag. 137) il sollevamento dell'anello *b*, il movimento delle leve a gomito *b a a* dal quale dipende la chiusura più o meno completa della valvola d'ammissione C, questa regola così la quantità di vapore che penetra nel cilindro.

A completare questa descrizione dobbiamo ancora spiegarvi l'ingegnoso apparecchio, detto *cassetto*, che serve alla distribuzione del vapore, dichiarando in pari tempo l'ufficio dell'*eccentrico* H.

Le unite figure 46, 47 rappresentano con ogni particolare il *cassetto* — che nella figura 45 è rappresentato in CE — in due posizioni successive. Come si scorge in quest'ultima figura, il cassetto è collocato sul fianco del cilindro motore e corrisponde all'imboccatura dei due canali, l'uno ascendente, l'altro discendente, che mettono capo — rispettivamente — nella capacità superiore e nella capacità inferiore del cilindro.

Fig. 46. Fig. 47.

CASSETTO DI DISTRIBUZIONE IN DUE POSIZIONI SUCCESSIVE.

Passiamo ora ad esaminare la fig. 46; i due canali or menzionati, compariscono tagliati longitudinalmente; H è il canale ascendente, I il canale discendente. S e T rappresentano le sezioni traversali di due tubi; il tubo S conduce entro alla capacità SE il vapore sviluppatosi nella caldaia; il tubo

T parte dal fianco del cilindro a va nel condensatore. Ciò posto si comprenderà facilmente che, stando le cose come sono indicate nella fig. 45 il vapore che giunge per S dalla caldaia, trovando aperta la bocca del canale I, passerà direttamente nella capacità inferiore del cilindro e quindi obbligherà lo stantuffo a salire; nel tempo stesso, il vapore precedentemente introdotto nella capacità superiore del cilindro, trova aperta l' uscita del canale H che lo guida nel tubo T che, come abbiam detto, mette nel condensatore. Questa disposizione rende quindi possibile l'ascesa dello stantuffo motore. Vediamo ora come si ottenga la discesa col semplice spostamento del *cappello* G La figura 47 mostra il *cappello* nella posizione inversa: il vapore che continua a sgorgare, dal tubo S, entro alla capacità SE trova chiuso l'adito del tubo I, ma trova aperto il passaggio del canale H, traversa questo canale e si precipita nella capacità superiore del cilindro, preme lo stantuffo e lo obbliga a discendere, mentre il vapore dapprima introdotto nella capacità inferiore del cilindro, può liberamente uscire pel canale I e passando quindi nel tubo T, va a scaricarsi nel condensatore.

Resta ora a sapersi in qual modo si può obbligare il *cappello* G a scorrere su e giù per coprire e scoprire ora l' imboccatura del canale ascendente, ora l' imboccatura del canale discendente. A quest' ufficio risponde l'eccentrico H' fig. 45) disegnato più particolarmente nella figura 48. Sull' asse principale A — che, mediante la indicate trasmissioni, riceve il movimento dello stantuffo motore, per poi trasmetterlo ai singoli organi operatori che devono essere animati dalla macchina — sull' asse principale A, è fissato un disco metallico E, il cui centro di figura non coincide col centro di figura dell'asse A, perciò corre una distanza variabile dal centro di quest' asse ai varii punti del perimetro del disco E, cui si dà il nome di *eccentrico*. Quest'ultimo è circondato da un anello K, dal quale partono due *tiranti* o verghe rigide convergenti, mantenute a distanza invariabile l'una dall' altra. Dal punto di incontro di queste due verghe parte una breve verga rigida orizzontale, unita a snodatura con una leva a gomito, girevole intorno ad un perno fisso portato da un appoggio. L'altro braccio di questa leva a gomito, termina con un occhiolo attraversato da un bottone. Un'asta rigida verticale si stacca ad angolo retto da questo bottone e va a collegarsi

col *cappello* segnato G nelle fig. 46 e 47; l'asta rigida è segnata con G nella figura 45 e con FG nelle figure 46 e 47. In questa due figure si scorge anche la scattola stoppata B, che permette all'asta FG di penetrare a tenuta di vapore nella capacità SE

Ciò posto, quando (fig. 48) il movimento di rotazione dell'albero A, mette in movimento anche l' eccentrico E, questi, essendo obbligato a muoversi entro all'anello K, obbliga anche l'anello a muoversi circolarmente; il movimento circolare dell'anello K si trasmette anche alle due verghe convergenti summenzionate e determina un movimento di va a vieni nell'asta rigida orizzontale che si diparte a destra dal punto d'incontro di quelle due verghe. Grazie alla anodatura che unisce la verga orizzontale con la leva a gomito, i due bracci della stessa — ruotando intorno al loro perno — occupano le posizioni indicate dalle punteggiate, l'occhiolo si abbassa, preme il bottone ed obbliga quindi ad abbassarsi anche l'asta verticale, che comanda il movimento del cappello G, (fig. 46, 47) e questi si abbassa. Continuando la rotaziona dell'albero A, la leva a gomito — ruotando sempre intorno al proprio perno — ritorna nella posizione primitiva; l'occhiolo si innalza, trae seco il bottone, questi obbliga a salire l'asta verticale a quindi anche il cappello G. Da questa connessione di movimenti risulta — coma ben si comprende — che ad ogni movimento d'ascesa a discesa dello stantuffo F

Fig. 48. Eccentrico, tiranti e leva a gomito

(fig. 45) corrisponde un giro completo del volante V ed un'ascesa e discesa del cappello G. Questi tre movimenti sono collegati in modo tale che l'uno di essi non può verificarsi senza provocare necessariamente gli altri due.

L'eccentrico da noi descritto è della forma più semplice, però l'impiego del medesimo trae seco alcuni inconvenienti derivanti dalla velocità variabile con cui si muove il cappello durante la sua corsa ascendente o discendente. Variando opportunamente la forma dell'eccentrico si può obbligare il cappello a muoversi — sì nell'ascesa come nella discesa — con quella velocità che più si desidera. Quando si vuol utilizzare l'espansione del vapore si assegna all'eccentrico forma appropriata al genere d'espansione che si desidera, così si può chiudere il canale per cui il vapore penetra or nell'una or nell'altra capacità del cilindro, nell'istante in cui lo stantuffo ha compiuto, ad esempio un terzo, un quarto, un quinto, ecc., della sua corsa. La fig. 49 rappresenta un eccentrico appropriato a provocare l'espansione del vapore nell'interno del cilindro. In tal caso il disco dell'eccentrico è obbligato a muoversi lambendo costantemente il contorno di due cilindretti od assi girevoli fissati a quella tal verga che provoca il movimento della leva a gomito che è poi la causa dell'alternata ascesa e discesa del cappello.

Fig. 49
ECCENTRICO PER L'ESPANSIONE.

In alcuni casi l'apparecchio di distribuzione del vapore è ancor più complicato, componendosi di due *cappelli* sovrapposti, ciascuno dei quali è animato di moto indipendente. Uno di questi due *cappelli* serve unicamente a regolare l'ingresso del vapore nelle due capacità del cilindro, l'altro regola l'espansione; il descriverli minutamente ci devierebbe di troppo dal nostro programma.

Nelle *macchine a vapore ad alta pressione, senza condensatore*, il vapore che ha funzionato nel cilindro per provocare l'ascesa o la discesa dello stantuffo, si scarica direttamente nell'atmosfera. Perciò, a pari forza, queste macchine consumano maggior quantità di vapore, richiedono maggior combustibile e quindi maggiore spesa giornaliera per mantenerle

in attività. Tuttavia esse presentano un notevole vantaggio rispetto alle macchine fornite di condensatore;

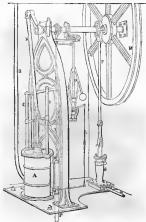



Fig. 50 MACCHINA A VAPORE AD ALTA PRESSIONE.

hanno meccanismo molto più semplice e quindi sono meno costose, domandano pochissimo spazio e possono

funzionare anche dove non sia disponibile la corrente d'acqua fredda richiesta dalle macchine a condensatore.

Nelle macchine ad alta pressione, si sopprime il più delle volte il bilancere, si ottiene la trasformazione del movimento rettilineo di va e vieni dello stantuffo, in movimento circolare continuo dell'albero motore, congiungendo direttamente, mediante una biella, l'estremità superiore del gambo dello stantuffo con l'estremità della manovella applicata all'albero motore; per impedire poi che il gambo dello stan-

tuffo possa inflettersi, per la resistenza obliqua che esso incontra nell'imprimere il movimento alla biella, si obbliga quel gambo a muoversi frammezzo a due guide inflessibili indicate in CC nella fig. 50 che rap-

presenta una macchina ad alta pressione senza condensatore.

La figura 51 rappresenta un altro modello della stessa mac-

Fig. 51 MACCHINA A VAPORE AD ALTA PRESSIONE.

a tubo conduttore del vapore, b valvola di ammissione, A cilindro, B asta dello stantuffo, c tubo di scarico, C biella, D manovella, E eccentrico per la distribuzione del vapore, M M regolatore a forza centrifuga, F eccentrico della pompa d'alimentazione P, G G volante.

china; per maggior chiarezza il cilindro è sezionato pel mezzo con un piano verticale ed è tolta una delle due guide c fra le quali è obbligato a scorrere il gambo dello stantuffo; pello stesso motivo non si vede che una sola — quella a destra — delle due colonne di metallo che sostengono l'estremità

destra dell'albero motore EF, l'estremità sinistra di quest'albero è sorretta da un massiccio di muratura. Ciò posto si comprenderà facilmente il giuoco di questa macchina: il vapor acqueo proveniente da un generatore — che non si vede nella nostra figura — ascende nel tubo a e, quando la valvola b è aperta, traversa il *cassetto* di distribuzione del vapore, e penetra nella capacità superiore del cilindro A, mentre il vapore che già occupava la capacità inferiore di quel cilindro, passa nel *cassetto*, penetra nella capacità indicata con T nelle fig. 46 e 47 passa quindi nel tubo e per scaricarsi poscia nell'aria. In tali condizioni, lo stantuffo si abbassa; obbliga ad abbassarsi anche il gambo B, la biella C e la manovella D; questa imprime necessariamente un movimento di rotazione all'albero EF, sul quale è impernato il massiccio volante GG; il movimento rotatorio di quest'albero è utilizzato sia direttamente sia mediante cingoli o mediante ingranaggi, per far andare determinata industria, per effettuare qualche lavoro. Le ruote comebe H e K trasmettono il movimento rotatorio di quell'albero, al regolatore a forza centrifuga MM; l'alzarsi o l'abbassarsi delle due palle M — provocato dalla forza centrifuga — determina la chiusura o l'apertura, più o meno completa, della valvola b che regola l'ammissione del vapore nel cilindro; — il movimento rotatorio dell'albero EF mette in movimento anche l'eccentrico E dal quale discende un'asta congiunta ad articolazione col gambo rigido che provoca l'alternato movimento di ascesa e di discesa del cassetto di distribuzione del vapore; — l'altro eccentrico F — fissato del pari sull'albero EF — mette in movimento il gambo N della pompa d'alimentazione P che attinge l'acqua da un serbatoio e la spinge nella caldaia. Per utilizzare, almeno in parte, il vapor acqueo che ha già servito a provocare l'oscillazione dello stantuffo motore, si obbliga il prolungamento del tubo e ad attraversare il serbatoio contenente l'acqua destinata all'alimentazione della caldaia, così quest'acqua subisce un primo riscaldamento prima ancora di giungere nell'interno della caldaia, il che — come ben si comprende — produce economia di combustibile e quindi diminuzione di spesa.

Fino ad ora abbiam parlato di macchine a vapore, nelle quali il cilindro è sempre verticale; in molti casi, specialmente nella piccola industria, riescono più

comode *le macchine a vapore col cilindro orizzontale*. Queste macchine hanno il pregio di poter essere collocate anche in locali di mediocre altezza, di richiedere tenue spesa d'impianto e di poter essere continuamente sorvegliate dal meccanico, che senza fatica alcuna può esaminarne i singoli organi.

La fig. 52 rappresenta una di queste macchine; per maggior chiarezza il cilindro è sezionato longitudinalmente. Quando i singoli organi occupano la posizione indicata in questa figura, il vapore che viene dalla caldaia, penetra nella capacità *destra* del cilindro, mentre il vapore precedentemente introdotto - nella capacità *sinistra* del cilindro - passa nel cappello, penetra nella capacità sottostante, dalla quale parte un tubo che lo scarica nell'atmosfera, come si è detto per la macchina rappresentata dalla fig. 51. In queste condizioni lo stantuffo compie la sua corsa da *destra verso sinistra;* il gambo connesso a questo stantuffo tra-

Fig. 52. Macchina a vapore a cilindro orizzontale.

versa, a tenuta di vapore, il coperchio sinistro del cilindro; l'estremità del gambo — obbligata a muoversi fra due guide orizzontali del tutto analoghe alle guide verticali CC (fig. 51), e articolata ad una biella che provoca il movimento della manovella fissata sull'asse od albero che porta il volante. L'eccentrico, messo in movimento da quest'albero, provoca un continuo moto orizzontale di va e vieni nel cassetto di distribuzione del vapore e così non appena lo stantuffo giunge in prossimità al fondo sinistro del cilindro, il cappello — che ha cangiata posizione — guida il vapore nella capacità sinistra e nel tempo stesso permette l'uscita del vapore precedentemente introdotto nella capacità destra del cilindro; lo stantuffo si muove quindi da *sinistra verso destra* per poi oscillare nuovamente nell'opposta direzione. Queste oscillazioni dello stantuffo — che si compiono in assai minor tempo di quello da noi impiegato a descriverle — si ripetono senza tregua ed imprimono quindi un continuo moto rotatorio all'asse od albero che poi lo trasmette ai varî organi operatori.

In alcuni casi torna conveniente l'impiego di *macchine a vapore a cilindro oscillante*; in queste si sopprime la biella e si congiunge con articolazione e snodatura, l'estremità del gambo dello stantuffo con l'estremità della manovella fissata, come nelle macchine già descritte, sull'albero motore. Per ottenere, ad onta della soppressione della biella, la necessaria trasformazione del moto rettilineo di va e vieni del gambo dello stantuffo, in moto circolare continuo dell'albero od asse della macchina, convenne render mobile il cilindro, in guisa che il gambo dello stantuffo, pur mantenendosi rigido e nella direzione dell'asse del cilindro, provoca il moto circolare dell'estremità della manovella. Si raggiunge l'intento appoggiando il cilindro sopra due perni, che corrispondono a metà altezza del cilindro; quest'ultimo oscilla quindi ora a destra ora a sinistra come un pendolo. Siccome, quando il cilindro è in movimento, questi due perni sono le sole parti immobili del sistema, così convenne

render cavi quei due perni, che son quindi le estremità di due tubi; il vapore giunge dal cilindro nella caldaia attraverso uno dei due perni, mette in movimento lo stantuffo ed esce quindi pel canale praticato nell'altro perno, che sta dall'altra parte del cilindro. Il cassetto di distribuzione del vapore, collocato lateralmente al cilindro, segue quest'ultimo nei suoi movimenti.

Queste macchine a cilindro oscillante presentano un grave inconveniente: la poca durata dei perni che devono sostenere tutto il peso e gli urti della macchina. Tuttavia il vantaggio non indifferente di richiedere uno spazio minimo fa adottare queste macchine ogni qualvolta la ristrettezza dello spazio disponibile non permetterebbe di impiegar macchine sia a cilindro verticale (fig. 51) sia a cilindro orizzontale (fig. 52).

Queste macchine sono perciò specialmente impiegate per la navigazione poichè, come ben si comprende, quanto più piccolo è lo spazio occupato dalla macchina tanto più grande risulta lo spazio disponibile pei viaggiatori e per le merci.

Le unite fig. 53 e 54 rappresentano una macchina a cilindri oscillanti, quale è in uso nella navigazione. In questa *macchina*, che perciò appunto dicesi *a cilindri gemelli*, i cilindri sono due, come si scorge nella fig. 53 che rappresenta la macchina veduta di fronte.

Il vapore sviluppatosi nella caldaia, passa in un tubo che si biforca in due rami, l'uno di questi corre a destra, l'altro a sinistra, entrambi piegano a gomito e penetrano nei fianchi dei due cilindri motori AA; la nostra figura rappresenta in aa l'ultimo tratto di questi due tubi, che per maggior chiarezza sono sezionati trasversalmente. L'estremità del gambo di ciascuno dei due stantuffi è attraversata da robusto perno fissato sui capi delle due manovelle gemelle BC, che — attesa

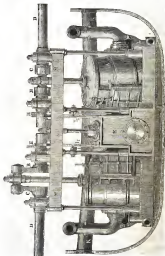



Fig. 53. MACCHINA A CILINDRI OSCILLANTI, PER BATTELLI A VAPORE, VEDUTA DI FRONTE.

l'oscillazione del cilindro — si muovono circolarmente ed imprimono continuo moto circolare all'albero od asse DD sul quale sono fissate le due ruote motrici del battello a vapore. Lateralmente a ciascuno dei due cilindri vedesi in G la cassetta di distribuzione del vapore, ciascuno dei due cappelli distributori è mosso da un eccentrico H fissato sull'albero DD. Il condensatore è raffigurato in E; F è la pompa ad aria che estrae l'acqua prodotta dalla condensazione del vapore unitamente a quella riscaldatasi in causa di questa condensazione. Il gambo di questa pompa è articolato a due manovelle gemelle che si staccano dal mezzo dell'albero motore DD. Le leve LL vengono manovrate dal meccanico quando vuol sopprimere o ristabilire l'azione delle aste che dipendono dagli eccentrici HH, i quali, come abbiam detto, comandano la distribuzione del vapore nei due cilindri AA. Le leve, I_2I_2 (fig. 54) convenientemente manovrate dal meccanico servono a far variare, a piacere, la predetta distribuzione. L'acqua estratta dalla pompa ad aria passa nei due tubi di scarico KK che attraversano le pareti della nave — l'uno sul fianco destro, l'altro sul fianco sinistro. In LLLL si veggono quattro pompe, che vengon messe in movimento dalla stessa macchina. Due di queste pompe servono all'alimentazione della caldaia, le altre due a pompar l'acqua dalla stiva. Per ultimo, MM è un robusto telaio rettangolare, di metallo, che circonda la macchina ed impedisce l'avvicinarsi degli incauti che potrebbero altrimenti rimaner colpiti dall'oscillazione del gambo dello stantuffo o dal movimento circolare delle manovelle.

Le *macchine rotatorie* sono costrutte in modo da eliminare gli organi intermedii fra l'organo che riceve la forza del vapore e l'organo che la utilizza per uno scopo determinato. Anzichè far agire il vapore entro ad un cilindro cavo, provveduto di stantuffo, munito alla sua volta d'un gambo, alla cui estremità è articolata una biella, alla quale è collegato il bilancere e così via, si collocò tutto l'apparecchio motore sull'albero della macchina, sopprimendo in tal guisa tutti gli organi intermedii.

Diremo brevemente in qual modo si potè raggiungere questo scopo. Al cilindro si sostituì un tamburo

sull'asse del quale è impernato l'albero motore. Allo stantuffo si sostituì una pala fissata su quest'albero. Il vapore entra dalla caldaia nel tamburo, per una fessura longitudinale, spinge la pala che perciò è obbligata a muoversi circolarmente ed imprime quindi un movimento di rotazione all'albero motore sul quale essa è fissata. Il vapore che ha già funzionato passa nel condensatore, attraversando un'altra fessura longitudinale, praticata, come la precedente, nella parete del tamburo; due valvole a cassetto opportunamente disposte, lungo quelle fessure, regolano l'una l'ammissione del vapore, l'altra lo scarico.

Il primo concetto delle macchine rotatorie spetta a Watt che lo dichiarò esplicitamente nell'articolo quinto del suo primo brevetto.

Però queste macchine che da principio sembrava dovessero operare una vera rivoluzione nel modo d'impiego del vapore, non corrisposero all'aspettativa. Le macchine rotatorie fino ad ora costrutte, presentano un gravissimo inconveniente: richiedono ingente spesa di combustibile, consumano cioè da otto a dieci chilogrammi di carbon fossile per cavallo, per ora e cavallo-vapore. Quantitativo che supera di gran lunga le perdite che si possono attualmente tollerare nell'impiego delle macchine a vapore. Si riescirà forse un giorno a costrnire buone macchine rotatorie; ma ad ogni modo, dal punto di vista teorico non vi potrà essere alcun vantaggio. Si pretende che una macchina a movimento diretto utilizzi la forza meglio d'una macchina con biella e manovelta. Non è vero: la macchina a movimento alternato trasmette tutta quanta la sua forza al bottone della manovella, astrazion fatta dal piccolo attrito. Il sistema rotatorio diverrebbe vantaggioso quando i costruttori riescissero a ren-

dere meno dispendiose le nuove macchine, semplificandone gli organi, riducendone il volume ed il peso; mentre le macchine rotatorie fino ad ora costrutte, sono più complicate delle altre e producono minor effetto utile.

Abbiam già accennato, nel principio di questo capitolo, ad alcune macchine che sebbene animate di moto rettilineo alternato, sono pure macchine ad azione diretta; descriveremo ora due macchine di questo genere.

La fig. 55 rappresenta una pompa a vapore, a semplice effetto, per l'estrazione dell'acqua dal fondo delle miniere. Tutti gli organi di trasmissione, esistenti nelle macchine a vapore da noi descritte fino ad ora, sono soppressi; la forza del vapore è direttamente utilizzata a sollevare lo stantuffo al cui gambo è direttamente congiunta l'asta della pompa d'estrazione.

Il cilindro motore A, sostenuto da due travi di metallo — che veggonsi, sezionate, in EE — trovasi precisamente sulla bocca del pozzo d'estrazione. Il vapore generatosi nella caldaia, penetra pel tubo H entro al cilindro, preme dal sotto in su lo stantuffo motore B e lo spinge fino al sommo della sua corsa. Quando lo stantuffo occupa quella posizione, la valvola di ammissione è chiusa e la valvola di scarico si apre; il vapore trovando aperta questa valvola — che nella nostra figura rimane nascosta dall'apparecchio H, che regola l'ammissione — esce dal cilindro e sale nel tubo K per scaricarsi poi nell'atmosfera; da questo tubo si stacca lateralmente il tubo L che mantiene uno strato di vapore — alla tensione d'una sola atmosfera — fra la faccia superiore dello stantuffo e la faccia inferiore del coperchio del cilindro: quello strato di vapore impedisce il raffreddamento dello stantuffo e del cilindro, raffreddamento che per quanto sappiamo, produrrebbe un inutile consumo di vapore. Dalla faccia inferiore dello stantuffo B, si stacca il gambo C, alla cui estremità inferiore — che attraversa a tenuta di vapore, il fondo del cilindro — è fissata l'asta F che discende giù giù nel pozzo della miniera e termina allo stantuffo della pompa.

Ecco dunque che lo stantuffo B, sollevandosi, solleva pure l'asta F e quindi anche lo stantuffo della pompa che sta in fondo al pozzo della miniera; il sollevarsi di questo stantuffo provoca infine il sollevamento dell'acqua. Al termine d'ogni corsa ascendente, il vapore, che ha già funzionato, passa dal

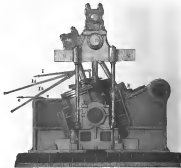



Fig. 54. MACCHINA A CILINDRI OSCILLANTI, PER BATTELLI A VAPORE, VEDUTA DI FIANCO

cilindro nell'atmosfera, ed allora questa esercita eguale pressione tanto sulla faccia superiore quanto sulla faccia inferiore dello stantuffo; tuttavia quest'ultimo discende in virtù del proprio peso, del peso del gambo C e della lunga asta F. Quando lo stantuffo sta per toccare il fondo del cilindro, il vapore ricomincia ad entrare in quest'ultimo, risolleva lo stantuffo che sale fino al punto più alto della sua corsa, ridiscende ed acquista per conseguenza il necessario movimento

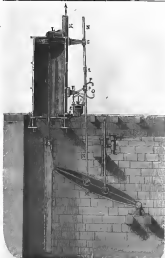



Fig 55 POMPA A VAPORE AD AZIONE DIRETTA.

di va e viani. Come il lettore avrà già imaginato, anche questa macchina regola da sè l'ingresso e l'uscita del vapore nel cilindro e provvede da sè all'alimentazione della caldaia. Si raggiungono questi due scopi, congiungendo, con una biella *cm*, la sommità *c* dell'asta F con l'estremità *m* del bilancere *mn* che ruota intorno al perno *n* portato da apposito sostegno. Come ben si comprende, la biella *cm* è articolata in *c* ed in *m*, perciò il continuo movimento di ascesa e di discesa dell'asta F, produce un movimento alternato di ascesa e di discesa — per archi circolari, aventi il centro in *n* — del bilancere *mn*. Da quest'ultimo si staccano, ad articolazione, le due aste rigide NN ed O; l'asta NN guidata da un collare S — portato da un braccio orizzontale — regola l'ammissione e lo scarico del vapore, l'asta O mette in movimento la pompa alimentare.

La fig. 56 rappresenta un *maglio a vapore* come lo si adopera nelle grandi officine metallurgiche. Nell'interno d'un cilindro a vapore, simile a quello descritto poc'anzi, scorre uno stantuffo il cui gambo, che discende verticalmente, porta un pesantissimo maglio massiccio, di ferraccio. In alcune officine questi giunge a pesare persino 12000 chilogrammi. Per farlo funzionare, un operaio (che si vede al piano superiore, di fianco al cilindro) apre un rubinetto che permette l'ingresso del vapore dalla caldaia nel cilindro, il vapore penetra nella capacità inferiore del cilindro, solleva lo stantuffo che trae dietro a sè la pesantissima massa metallica che costituisce il maglio; intercettando nel momento opportuno l'ingresso del vapore nel cilindro ed aprendo un varco al vapore precedentemente introdottovi, lo stantuffo rimane abbandonato e discende quindi unitamente al maglio che va a colpire con gran forza le sbarre di metallo rovente o gli altri pezzi che si vogliono sottoporre a quell'urto formidabile. Come ben si comprende, quest'urto riesce tanto più potente quanto maggiore è l'altezza da cui discende il maglio; l'altezza della

cadnta può essere regolata a piacere, l'altezza massima corrisponde a tutta la corsa dello stantuffo e quindi all'altezza del cilindro.

Da qualche tempo un nuovo ed importante principio va estendendosi nella pratica industriale; vogliam dire l'impiego di macchine a vapore a *grande velocità*.

Queste macchine, come dice l'egregio prof. Colombo (1) presentano dei vantaggi che non si potrebbero consegnire con le macchine dotate di velocità ordinaria, non superiore ad un metro al minuto secondo. Una macchina a gran velocità può, a pari forza e grazie all'aumento di velocità, subire riduzione di volume e quindi anche di peso. Aggiungi poi che la gran velocità provoca movimento tanto uniforme quanto non si potrebbe ottenerlo nelle macchine ordinarie anche aumentando il peso del volante. Tutta la macchina fa da volante: il quale allora ha un ufficio relativamente secondario e non pesa più con tutta la sua massa sui sostegni dell'albero motore. La riduzione di peso e di volume e la grande regolarità di movimento non son piccoli vantaggi: in molti casi essi sono anzi vantaggi di capitale importanza, il peso ed il volume di una motrice sono sempre di ostacolo o per lo meno di imbarazzo: ma nella navigazione a vapore, per esempio, posson divenlare un serio inconveniente. Il problema della navigazione aerea non dipende forse che da una cosa sola, la possibilità di avere un motore leggerissimo, in confronto alla forza che esso fornisce; ora questo motore, al presente non c'è, e la soluzione del grande problema rimane, al-

(1) Vedi L'Annuario Scientifico ed Industriale, anno quarto. Milano 1868, all'articolo *Meccanica e Industria*, del Prof. Ing. G. Colombo a pag. 532 e seguenti.

meno per ora, impossibile. — Ora, a mostrare quanto contribuisca l'aumento di velocità a ridurre il volume di una macchina a vapore, basta considerare la macchina a gran velocità dell'americano Allen, che figurava all'Esposizione Universale del 1867; questa macchina ha uno stantuffo di circa 30 centimetri di diametro, e 60 centimetri di corsa, e che funziona a poco più di 4 atmosfere di pressione. Or bene, questa macchina ha 100 cavalli di forza; una macchina fissa, ordinaria, delle stesse dimensioni e funzionate colla stessa pressione iniziale e con lo stesso grado di espansione, non

Fig.

A VAPORE.

avrebbe più di 15 a 20 cavalli di forza. Una motrice Allen terrebbe, a pari forza, la decima parte dello spazio che occupa una macchina ordinaria di navigazione. Grazie alla riduzione di peso realizzata col sistema Allen, la citata macchina della forza di 100 cavalli pesa soltanto 3000 chilogrammi (30 chil. per cavallo) e fu venduta per il prezzo di 11,250 fr. alla ditta Ducommun di Mulhouse conosciutissima per le sue eccellenti macchine-utensili. Il prezzo di acquisto di una grande motrice per un opificio sarebbe dunque ridotto a poco più di 100 fr. per cavallo, la quarta

parte del costo ordinario. Quanto al vantaggio della regolarità assai maggiore, lo si concepisce a prima vista. Per avere una grande regolarità, alcune industrie, come le filature, sono costrette a rassegnarsi alle pesanti, costose e ingombranti macchine a bilanciere, nelle quali l'uniformità del movimento è ottenuta a forza di peso delle masse in moto: tutta questa massa di ghisa diventerebbe inutile adottando le grandi velocità della macchina Allen.

Per raggiungere e mantenere una velocità così grande come è quella di 4 metri al secondo, bisogna dare a tutti gli organi della macchina disposizioni particolari. La macchina Allen presenta infatti disposizioni e forme ingegnosissime in tutte le sue parti, noi però dobbiam rinunciare a descriverle nel consentendoci i limiti di questo scritto.

Chiuderemo questo lungo capitolo riferendo un saggio consiglio dello stesso prof. G. Colombo relativo alla scelta di una buona motrice (1).

« La questione di una buona motrice, dotata di movimento dolce e regolare, poco soggetta a deteriorarsi rapidamente, che permetta di spingere ad alto grado l'espansione ed economizzi molto il combustibile, è per l'industriale una questione di vitale interesse. Un industriale che ha bisogno, poniamo, di una forza di 100 cavalli, deve consumare in media cinque tonnellate di carbon fossile al giorno di 24 ore, che, a Milano, rappresentano una somma di 300 franchi. Una cattiva motrice potrà fargliene spendere invece più di 400, e una buona macchina non richiederà una spesa molto superiore a 200 franchi. E dunque un' economia netta di 100 franchi al giorno che egli può ritrarre dalle cure e dalle precauzioni con cui egli ha saputo scegliere il motore del suo opificio. Ora v'hanno criteri facilissimi per guidarsi in questa scelta: le macchine veramente buone e che anche appaion tali quando se ne studia il meccanismo e la distribuzione, sono ben presto fatte conoscere al pubblico non solo dal costruttore

(1) Vedi il citato ANNUARIO a pag. 535

che vi è interessato; ma de quelli stessi che se ne servono; si conosce il consumo normale di combustibile delle motrici fornite da un dato costruttore con tanta prossimità al vero quanta se ne avrebbe esperimentando le macchine stesse. Il preferire, per esempio, le macchine inglesi, soltanto perchè sono inglesi, non è sempre giusto: bisogna anche dar retta all'eloquenza delle cifre, e regolarsi in conseguenza anche se esse risultano contrario alle proprie convinzioni. Diciamo queste parole per rattificare una certa prevenzione che spesso si trova nei nostri industriali contro le motrici francesi: le quali invece, da alcuni anni al presente hanno fatto un sensibilissimo progresso e possono vantaggiosamente sostenere la concorrenza con le macchine inglesi, come si è cominciato anche a convincersene perfino in Inghilterra, dove l'Esposizione del 1867 ha sparso un allarme, certamente giustificato dalle cose.

« In Inghilterra non si è mai pensato molto seriamente alla questione dell'economia del combustibile, nelle costruzione di macchine a vapore. Nelle località ove si trovano le miniere, come a Manchester e a Newcastle, il carbon fossile costa pochi scellini alla tonnellata: nel resto dell'Inghilterra il prezzo ne è appena raddoppiato dai trasporti. Quindi il combustibile costa in Inghilterra la metà di quanto costa in Francia ed un quarto di quanto costa da noi, perciò esso è un elemento di poca importanza rispetto, per esempio, al prezzo delle mercedi che invece vi è assai elevato; d'onde consegue la poca attenzione prestata al perfezionamento delle motrici a vapore. Vi contribuisce anche la limitatissima educazione scientifica e tecnica dalle generalità degli industriali e dei costruttori ed il rispetto quasi esagerato dei tipi e dalle forme tradizionali: per cui, in tutte le ultime Esposizioni, le macchine a vapore inglesi non hanno mai insegnato nulla di nuovo e non si son mai fatte rimarcare per altro che per un'esecuzione straordinariamente accurata e perfetta. Ma, mentre si ammira la finitezza del lavoro e le dolcezza del movimento, che sono pur cause di una certa economia di combustibile, non si può a meno, vedendole, di restar sorpresi della poca novità specialmente nei sistemi di distribuzione; e molto più quando le si confrontano colle macchine francesi, nella quali, se è difficile di riscontrare un lavoro di pari perfezione, si vede per lo meno uno studio profondo delle condizioni migliori in cui deve lavorare il vapore ed il

risultato dei continui tentativi fatti, con più o meno grande successo, per realizzarle.

« Questi tentativi hanno condotto, com'è naturale, alcuni costruttori francesi ad ideare e a fornire delle motrici, la quali sono assolutamente eccellenti ed in cui il consumo di combustibile è ridotto al minimo consentito dalle forme attuali della motrice a vapore. Non vi son macchine, qualunque ne sia il costruttore ed il sistema, che giungano a bruciare meno d'un chilogramma e mezzo di carbon fossile per cavallo e per ora, come le macchine della casa Farcot; e questo è il loro più grande elogio; anzi l'unico elogio che si possa attribuire ad una macchina a vapore. Gl'inglesi avevano sempre considerato sdegnosamente queste macchine che si andavano studiando in Francia ed assistevano con indifferenza al progresso che vi si andava svolgendo; ma adesso hanno compreso l'errore della loro condotta, ed hanno incominciato a sospettare che l'economia del combustibile sia qualche cosa che non meriti di essere disprezzata anche colle vantaggiose condizioni fatte loro dalle miniere di carbon fossile; e che esso possa entrare per qualche cosa nell'attiva e spesso fortunata concorrenza che fanno loro i costruttori del continente, non solo sui mercati esteri, ma perfino nel loro stesso paese. Le pubblicazioni periodiche inglesi di carattere tecnico non fanno altro che parlare, dall'Esposizione in poi, di questo argomento; ed è universale l'eccitamento degli industriali a vivissimi i propositi che vi si fanno di approfondire con più scienza e meno empirismo, la questione della miglior costruzione delle macchine a vapore, abbandonando, ove occorra, i tipi consecrati dall'uso e che non possono a meno di restare indietro, lu mezzo al progresso generale della industrie meccaniche. »

LE RIVALI DELLA MACCHINA A VAPORE

I.

La macchina a vapore e la grande industria. — Inconvenienti derivanti dall'applicazione della macchina a vapore alla piccola industria. — L'industria domestica e la conservazione della famiglia. — Importanza sociale delle macchine atte a sviluppare piccole forze — Vantaggi economici delle macchine ad aria calda e delle macchine a gas.

La macchina a vapore che nello stato attuale della meccanica è il motore più conveniente, quello che presenta il massimo numero di pregi, quando sia utilizzato nella grande industria, perde a poco a poco tutte le sue belle doti quanto più piccola è la forza che si richiede dal motore. Non son poche le industrie che abbisognano di motori atti a sviluppare piccole forze, corrispondenti al lavoro di un cavallo, di mezzo cavallo od anche meno, ma per quanto piccola sia la forza di cui si abbisogna, è pur mestieri, quando si voglia ricorrere alla macchina a vapore, sostenere ingenti spese di primo impianto. Aggiungi, che ogni macchina a vapore per quanto piccola, ha pur bisogno d'essere sorvegliata da un meccanico, che conviene sempre disporre d'un locale alquanto ampio, di una corrente d'acqua, d'un deposito di combustibile; l'incomodo del soverchio calore e del fumo, il pericolo dello scoppio della caldaia e quello dell'incendio ren-

dono quasi impossibile l'impianto di questa macchina nelle sfanzucce abitate dalla classe operaia, nei più alti piani delle case, nei grandi centri di popolazione. Aggiungi ancora, che per far funzionare la macchina a vapore, è necessario che il vapore sia costantemente mantenuto nella caldaia alla voluta tensione, tanto se la macchina deve lavorare di continuo, giorno e notte, quanto se nel corso della giornata essa deve lavorare soltanto interpolatamente, come è appunto necessario nella piccola industria; ma sì in un caso come nell'altro, conviene mantener sempre acceso un vivo fuoco nel fornello, se non si vuol sciupare ad ogni ripresa una o due ore per rifornir la caldaia del necessario vapore dotato della voluta tensione. Come ben si comprende, questo motore non presenta i necessari vantaggi per essere adottato dalla piccola industria.

« La macchina a vapore, come dice il prof. Colombo (1), permette di agglomerare migliaia di operai in un opificio e di diramare in tutti i punti di un vasto stabilimento centinaia di cavalli di forza ad un prezzo che è una piccola frazione della spesa totale d'esercizio e che diminuisce tanto più quanto più è grande la forza della motrice. Ma se la grande manifattura è una creazione moderna, se per essa soltanto l'industria ha potuto elevarsi all'altezza a cui ora si trova, essa non ha mai soffocato del tutto nè giungerà mai a soffocare la fabbricazione in piccolo, l'industria a domicilio che era l'industria de' secoli passati. L'invenzione della macchina a vapore le ha portato un gravissimo colpo, creando e rendendo possibile la grande manifattura; da Watt in poi il lavoro a domicilio ha continuato a lottare contro l'invasione del lavoro all' opificio, contro l'onnipotenza della motrice a vapore; ha tutto tentato per combattere la grande manifattura coi suoi mezzi stessi, ponendosi in traccia di una motrice, la quale, permettendo all' operaio di usufruire piuttosto la propria intelligenza che la propria forza, potesse

(1) Vedi il citato ANNUARIO SCIENTIFICO, Vol. IV, pag. 553.

mettere l'industria a domicilio sullo stesso piede, nelle stesse condizioni della fabbricazione in grande. È una questione di ordine morale, piuttosto che di interessi materiali; la grande manifattura mira a distruggere la famiglia, a privarla per lo meno di uno dei suoi più simpatici attributi, la convivenza, la comunanza d'ogni istante di affetti, di gioie e di dolori. È il sentimento che si dibatte contro la tirannia dell'interesse; ma il risultato definitivo della lotta pende ancora incerto, e non può essere che la conseguenza della soluzione di un problema che è ora l'oggetto di studio insistente, il problema della trasmissione economica della forza a grandi distanze, e della creazione dei piccoli motori. »

Riserbandoci a discorrere, in altra occasione, della trasmissione economica delle forze a grandi distanze, parleremo ora dei piccoli motori proposti in questi ultimi anni allo scopo di dotare la piccola industria di un motore che si presti facilmente ed economicamente alla produzione delle piccole forze, che non consumi se non quando lavora, che presenti tutte le condizioni necessarie per essere stabilito senza pericoli nei meschini locali abitati dalle famiglie operaie, che non domandi assidua attenzione, nè un personale esclusivamente dedicatovi.

La forza (1), nell'opificio domestico, si impiega d'ordinario a intervalli e in proporzioni variabili. Quindi se anche un piccolo motore fosse, in principio, meno economico della forza del vapore trasmessa a distanza, l'economia vera ci sarebbe ancora in fatto, poichè con esso è possibile valersi della forza, soltanto in quei momenti e in quelle proporzioni che il processo del lavoro esige senza domandare un dispendio superiore a quello che corrisponde alla quantità effettiva di forza consumata. Questo spiega l'insistenza con cui si propongono continuamente nuovi sistemi di macchine a gas illuminante, di motori ad aria calda; que-

(1) Idem. pag. 554.

sto spiega come nella sola Parigi, in pochi anni, dal 1862 al presente, si contino già più di 150 macchine Lenoir applicate alla fabbricazione in piccolo per una forza complessiva di più di 250 cavalli.

Questi motori della piccola industria, sono le macchine ad aria calda e le macchine a gas illuminante. Ma, quando si tratta di applicare le une o le altre all'industria a domicilio, le prime non possono, fino ad ora, sostenere il confronto colle seconde.

Le une e le altre non esigono l'impianto di una caldaia; quindi è già tolto uno dei più gravi ostacoli all'introduzione del motore nella fabbricazione in piccolo, al quarto o al quinto piano, nelle case ove la popolazione operaia è più addensata. Ma la macchina ad aria calda esige un focolare ed un camino; e questo è un inconveniente che può divenire intollerabile, che può rendere impossibile l'applicazione del motore in moltissimi casi. Un camino, anche se è comune a più macchine, non può essere facilmente installato dovunque; un focolare domanda già, se non un locale apposito, certo uno spazio speciale per la macchina, poi vi è la necessità di un deposito di combustibile, il timore di un incendio; v'è infine la circostanza, più grave di tutte, che la messa in movimento della macchine richiede un'ora di tempo, che il fuoco una volta acceso e la macchina une volta in moto, non si può usare della forza ad intervalli od in proporzioni variabili, senza un dispendio superiore a quello che richiederebbe la forza effettivamente consumata. L'unità di forza potrà costare — in una macchina ad aria calda — la metà od il terzo, quantunque non ci si arrivi mai, che in una macchina a gas, ma questa economia scompare quando si pensi al dippiù di spesa occasionata dall'intermittenza del lavoro; scompare

ancor più quando si riflette alle soggezioni, agli incomodi, ai perditempi che la condotta di un focolare trae naturalmente seco, principalmente nelle condizioni in cui si trova la fabbricazione a domicilio. »

II.

MACCHINE AD ARIA CALDA.

La macchina Ericson — Dilatazione dell'aria riscaldata — Le tele metalliche — Nave mossa dall'aria calda. — La macchina Laubereau — La camera calda, la camera fredda e lo stantuffo di gesso — La dilatazione dell'aria solleva lo stantuffo motore. — Una massa d'aria alternatamente riscaldata e raffreddata 500 volte al minuto.

Nella *macchina ad aria calda di Ericson* (1), proposta dall'ingegnere di questo nome, nel 1833, si imprime un movimento di va e vieni allo stantuffo sostituendo, al vapore, una massa d'aria alternatamente riscaldata e raffreddata.

(1) Ericson nacque in Isvezia nel 1803, mostrò fin da giovinetto speciale attitudine per la meccanica, e concepì parecchie invenzioni, non trovando appoggio in patria, si recò in Inghilterra, prese parte, con la sua macchina *Novelty*, al celebre concorso per la fornitura della prima locomotiva, le altre locomotive erano l'*Impareggiabile* di Hackworth, la *Perseveranza* di Burstall, ed il *Razzo* di Stephenson, che ottenne il premio.

Fu uno dei primi a proporre l'impiego dell'elica per la propulsione delle navi, lo applicò ad una navicella lunga circa 13 metri, la quale viaggiò sul Tamigi con la velocità di 10 miglia all'ora. L'ammiragliato inglese si mostrò sfavorevole a quest'invenzione di Ericson, che fu però giustamente apprezzata dal console americano. Questi propose ad Ericson, nel 1839, di trasferirsi agli Stati Uniti, a Filadelfia, e così l'ingegnere avedese fissò la sua dimora in quel paese, a vantaggio del quale ei costrusse poi il *Monitor*, fortezza galleggiante divenuta funestamente celebre durante la guerra tra gli Stati confederati e gli Stati federali (i separatisti e gli unionisti degli Stati Uniti d'America), quel *Monitor* che produsse la completa trasformazione di tutte le flotte e dei combattimenti navali. Iniziò poi lo studio di macchine atte ad utilizzare il calore solare, morì a Richland (Stato di Nuova York) nel febbraio 1869.

Per riscaldar l'aria si dispongono, l'una presso all'altra, moltissime tele metalliche a fitta tessitura; queste tele vengono gradatamente riscaldate fino alla temperatura di 250 gradi, allora si obbliga una corrente d'aria fredda ad attraversare rapidamente quella fitta siepe di fili metallici, l'aria si riscalda immediatamente e, riscaldandosi, si dilata (1). L'impulso prodotto dalla dilatazione di quest'aria è utilizzato per spingere uno stantuffo scorrevole nell'interno d'un cilindro, analogamente a quello della macchina a vapore. Quando lo stantuffo giunge all'estremità della sua corsa, quella stessa massa d'aria è obbligata a ripassare attraverso alle tele metalliche. Attesa l'enorme conducibilità del calorico, di cui sono dotati i fili metallici, questi sottraggono, all'aria che è costretta a lambirli, quasi tutto il calorico ad essa poc'anzi ceduto. Per tal modo, l'aria che esce dall'apparecchio ha temperatura ben poco superiore di quella che essa possedeva prima di entrarvi. La rapida successione di questi effetti di alternata dilatazione e contrazione dell'aria, or riscaldata, or raffreddata, passando e ripassando attraverso alle tele metalliche, provoca nello stantuffo un movimento di va e vieni: l'aria dilatata — supponiamo il cilindro disposto verticalmente — solleva lo stantuffo, ma quando, subito dopo, l'aria si raffredda, essa necessariamente si condensa e quindi

(1) L'aria atmosferica passando dalla temperatura di 0° alla temperatura di 100° centigradi, aumenta per circa un terzo (più precisamente $^{367}/_{1000}$) il suo volume, perciò quando la di lei tendenza ad espandersi sia contrastata, quell'aria esercita una corrispondente pressione sulle pareti del recipiente che la racchiude Alla temperatura di 272° centigradi, l'aria assume volume doppio di quello da essa posseduto a 0°, alla temperatura di 544° essa raggiunge volume triplo e così via, e perciò l'aria riscaldata a 272° esercita, sulle pareti del recipiente che si oppone alla di lei dilatazione, una pressione pari a quella di 2 atmosfere, riscaldata a 544° esercita pressione corrispondente a 3 atmosfere e così via.

non è più atta a mantenere sollevato lo stantuffo; perciò lo stantuffo discende fino al punto più basso della sua corsa. Un gambo, che sormonta lo stantuffo e che attraversa — a tenuta d'aria — il coperchio del cilindro, utilizza questo moto di va e vieni, come nel l'antica macchina di Newcomen o nella macchina di Watt ad effetto semplice. Si può tuttavia ottenere la continuità d'effetti indispensabile in moltissime industrie, accoppiando due cilindri e disponendo le cose in guisa che all'ascesa d'uno dei due stantuffi corrisponda la discesa dell'altro; collegando allora, con articolazioni, le aste di ciascuno dei due stantuffi alle due estremità d'un bilancere, si imprime a quest'ultimo un movimento alternato come nelle macchine a doppio effetto.

Nel 1848 Ericson costrusse la prima macchina ad aria calda, essa aveva la forza di 5 cavalli; all'Esposizione Universale di Londra, nel 1851, i meccanici europei poterono ammirare per la prima volta questa nuova invenzione applicata ad una macchina della forza di 60 cavalli. — Due anni dopo, il 15 febbraio 1853, salpava per una corsa di prova da Alessandria, il porto di Washington, la prima nave, denominata *l'Ericson*, mossa da macchina ad aria calda. La nave misurava circa 80 metri di lunghezza e 14 in larghezza, era della portata di 2200 tonnellate. Le due ruote a palette, collocate sui fianchi della nave, messe in movimento dall'aria calda, misuravano circa 10 metri di diametro e 3 metri di larghezza. La prova riescì felicemente; tuttavia Ericson stesso riconobbe che la sua macchina risultava più vantaggiosa — rispetto alla macchina a vapore — nella piccola anzichè nella grande industria, piuttosto per lo sviluppo di piccole anzichè di grandi forze.

La figura 87 rappresenta la macchina ad aria calda di Ericson, come apparirebbe se fosse sezionata pel lungo, mercè un piano verticale, in due parti eguali. Entro ad un ampio cilindro B, esposto all'azione del fuoco acceso nel fornello H, può muoversi a dolce sfregamento uno stantuffo cavo A internamente ripieno di argilla e gesso, sostanze poco conduttrici del calorico.

Il cilindro B comunica liberamente con l'aria atmosferica mercè le aperture *a a*, lateralmente ad esso ei innalza un secondo cilindro indicato con D di diametro alquanto minore, anche in esso scorre a dolce sfregamento uno stantuffo, segna'o con C, congiunto mediante verghe rigide *d d* allo stantuffo sottostante. Lo stantuffo C è sormontato superiormente da un robusto gambo E che attraversa, a tenuta d'aria, il coperchio del cilindro D, e si unisce, ad articolazione, con una delle due estremità di un bilanciere, che nella nostra figura non è indicato. F è un robusto cilindro metallico ripieno d'aria compressa. Il cilindro D comunica tanto con l'aria atmosferica grazie all'apertura *c* (che può essere mantenuta aperta o chiusa da una valvola che si apre dall'alto al basso) quanto ancora col serbatoio F grazie all'apertura *e* (mantenuta aperta o chiusa mercè una valvola che si apre dal basso all'alto). Una camera G comunicante a destra col cilindro B ed a sinistra col serbatoio F è ripiena di tele metalliche disposte verticalmente l'una di fianco all'altra.

Quando sia aperta la valvola *b* e chiusa la valvola *f*, l'aria compressa uscente dal serbatoio F è obbligata a passare attraverso a quella riunione di tele metalliche prima di giungere nel cilindro B. Quando all'incontro la valvola *b* è chiusa, e la valvola *f* è aperta, l'aria contenuta nel cilindro B può versarsi pel tubo *g* nell'atmosfera dopo aver attraversate quelle tele metalliche.

Vediamo ora in qual modo funziona la macchina: supponiamo che la valvola *b*, come è appunto indicato dalla figura, sia aperta, e che la valvola *f* sia chiusa; In tal caso l'aria compressa uscirà dal serbatoio F, attraverserà le tele metalliche G, mantenute ad alta temperatura per la vicinanza del fornello H, e perciò subirà un primo riscaldamento, quell'aria giungerà poi nella capacità inferiore del cilindro B e vi si riscalderà ulteriormente. L'aria riscaldatasi tende ad espandersi e non trovando uscita alcuna, solleva lo stantuffo A. L'ascesa di questo stantuffo obbliga a salire, in causa

delle verghe rigide *dd*, anche lo stantuffo C. L'aria precedentemente introdotta pel foro *c* entro alla capacità superiore del cilindro D, sarà obbligata, per l'ascesa dello stantuffo C, ad aprirsi la valvola *e* ed entrerà nel serbatoio F. Questo serbatoio riacquista quindi ad ogni ascesa dello stantuffo tanta

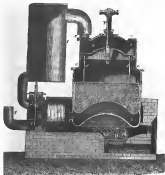



Fig. 57. MACCHINA AD ARIA CALDA DI ERICSON, VEDUTA IN SEZIONE.

aria quanta ne perdette prima, perciò la pressione dell' aria rimane costante, entro al serbatoio F.

Quando i due stantuffi A e C sono così parvenuti fino al punto più alto delle loro corsa, la valvola *b* si chiuda e la valvola *f* si apre. L'aria contenuta nella camera inferiore del cilindro B attraversa nuovamente, ma in opposta direzione, le tele metalliche G e si scarica nell'atmosfera pel tubo *g*.

Mancando allora la pressione dal sotto in su, gli stantuffi A e C discendono pel loro peso e per la pressione atmosferica. Nel tempo stesso, la valvola *c* si chiude, la valvola *e* si apre e quindi la camera superiore del cilindro D si riempie d'aria atmosferica. Quando gli stantuffi A e C giungono al punto più basso della loro corsa, la valvola *f* si chiude, la valvola *b* si apre e ricomincia il movimento ascendente già descritto.

Come il lettore ha già compreso, questa macchina è ad effetto semplice. La forza elastica dell'aria riscaldata serve soltanto a sollevare gli stantuffi ed il gambo E, ma non concorre per nulla a farli discendere. Accoppiando però opportunamente due macchine di questo genere, si può ottenerne un'azione continua facendole agire alternatamente alle due estremità d'uno stesso bilanciere, ne risulta quindi, come nelle macchine a vapore a doppio effetto, un movimento utile, non interrotto.

La macchina di Ericson successivamente perfezionata è ormai diffusa tanto in America quanto in Europa, in ispecie in Germania ed in Inghilterra.

L'Esposizione universale di Londra (1862) fece conoscere una nuova *macchina ad aria calda* dovuta al francese Laubereau; essa ricomparve migliorata, all'Esposizione universale di Parigi (1867).

La fig. 58 rappresenta questa macchina in prospettiva; la fig. 59 rappresenta i cilindri motori della stessa come apparirebbero se fossero sezionati pel mezzo. Come si scorge da questa figura, i due cilindri, disposti entrambi verticalmente, sono di diverso diametro, il maggiore — quello cioè rappresentato a destra (fig. 59) è un serbatoio d'aria, diviso da uno stantuffo, in due capacità o camere, l'una calda e l'altra fredda; la camera inferiore è costantemente mantenuta ad alta temperatura, mediante un fornello o semplicemente — quando si tratti di piccole macchine — mediante una fiamma a gas, come nella macchina rappresentata dalla nostra figura. La parete superiore, o cielo, è leggermente concava affinchè la

fiamma possa lambirne tutta la superficie e produrre quindi, con determinato consumo di combustibile o di gas, il massimo riscaldamento possibile. I prodotti della combustione passano poi nel tubo ascendente — segnato a sinistra nella fig. 58 — quindi si scaricano nell'atmosfera. Dunque, lo ripetiamo, la camera inferiore del cilindro maggiore, è sempre mantenuta ad alta temperatura.

All'incontro, la camera superiore di quel cilindro, è mantenuta costantemente a bassa temperatura grazie ad una corrente d'acqua fredda che circola continuamente fra la parete esterna della camera superiore ed un involucro o camicia che riveste questa camera. In virtù della conducibilità pel calorico, delle pareti della camera superiore, l'acqua fredda sottrae continuamente il calore che si andrebbe accumulando su quelle pareti, l'acqua riscaldata abbandona la macchina ed è tosto sostituita da nuova acqua fredda, senza interruzione alcuna. Questa continua circolazione di acqua è prodotta da una piccola pompa, che vedesi a destra nella fig. 58, messa in movimento dalla stessa macchina. Per tal modo, giova ripeterlo, la camera superiore è costantemente mantenuta a bassa temperatura, mentre la camera inferiore è fortemente riscaldata.

Per separare queste due camere in modo che ciascuna possa conservare la propria temperatura, si introduce nel cilindro uno stantuffo formato di gesso, poichè il gesso è pessimo conduttore del calorico; sebbene le due facce (la superiore e l'inferiore) di questo stantuffo, acquistino la temperatura della camera in cui rispettivamente si trovano, pure non vi ha passaggio di calorico attraverso allo spessore dello stantuffo. Il diametro di questo stantuffo è un po' più

piccolo del diametro del cilindro, per conseguenza, fra il contorno dello stantuffo ed il contorno del ci-

Fig. 58. MACCHINA AD ARIA CALDA, DI LAUBEREAU.

lindro, rimane uno spazio anulare che permette all'aria di passare dall'una all'altra camera del cilindro, quando lo stantuffo, muovendosi, scaccia l'aria

per andar ad occupare il posto che essa teneva. Al disotto dello stantuffo (fig. 59) si vede, in sezione, una campana a pareti metalliche assai sottili. Questa campana si muove in una camicia cilindrica ed ha per iscopo di obbligar l'aria, quando è costretta a passare dall'una all'altra camera del cilindro, a percorrere una strada più lunga a contatto delle pareti riscaldanti o refrigeranti e di lambirle a strati sottilissimi impossessandosi rapidamente della temperatura di queste pareti.

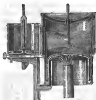



Fig. 59. CILINDRI DELLA MACCHINA LAUBEREAU VEDUTI IN SEZIONE

L'altro cilindro, che sta a sinistra nella fig. 59, è chiuso alla base ed aperto superiormente, nell'interno di questo cilindro può salire e scendere uno stantuffo metallico che può dirsi lo stantuffo motore, esso è sormontato da un gambo la cui sommità è articolata ad una biella che trasmette ad una manovella il movimento alternato, di ascesa e discesa, dello stantuffo; la manovella, fissata sull'asse od albero della macchina, imprime a quest'ultimo un continuo moto di rotazione

Un volante — che vedesi a destra nella fig. 58 — stabilmente fissato sull'albero motore, serve come ben si comprende, a regolare i movimenti della macchina; il movimento dell'albero è poi utilizzato, mediante opportune trasmissioni, per lo scopo speciale che si può avere in mira.

Riassumendo questi preliminari, abbiam veduti due cilindri, l'uno pel giuoco del calore, l'altro per ricevere la forza sviluppata dal calore e trasmetterla alla macchina. Nel cilindro maggiore, uno stantuffo di gesso separa la camera inferiore, mantenuta costantemente calda, dalla camera superiore mantenuta costantemente fredda; nel cilindro minore abbiam veduto uno stantuffo metallico, capace di mettere in movimento tutto l'apparecchio, purchè alla sua volta venga stimolato a salire e scendere alternatamente. Vedremo ora in qual modo il giuoco del calorico nel primo cilindro vale a provocare nell'altro, ora la salita, ora la discesa dello stantuffo motore.

Supponiamo anzitutto che lo stantuffo di gesso sia al punto più basso della sua corsa e riposi quindi direttamente sul cielo del fornello. Al disopra dello stantuffo c'è la camera ripiena d'aria fredda. Se ora solleviamo codesto stantuffo, ad esempio con la mano, fino a portarlo al punto più alto della sua corsa, l'aria fredda che occupava la camera superiore, spinta dal sollevamento dello stantuffo, sfugge per lo spazio anulare che esiste fra il contorno dello stantuffo e le pareti interne del cilindro, quell'aria penetra quindi nella camera inferiore e si riscalda; abbassando lo stantuffo, l'aria calda ripasserà nella camera superiore e si raffredderà pel contatto con le pareti di questa camera, mantenute costantemente a bassa temperatura dal velo d'acqua che la circonda. Sollevando di bel nuovo lo

stantuffo, l'aria fredda passerà nuovamente dalla camera superiore nella camera inferiore, tornerà a riscaldarsi e così via indefinitamente; la stessa aria subirà quindi con rapida successione, ora un riscaldamento, ora un raffreddamento passando dall'una camera nell'altra.

Qual vantaggio può arrecare lo spostamento continuo di quell'aria congiunto all'alternarsi della temperatura? Con un po' di pazienza ci arriveremo. Supponiamo dapprima che entrambi gli stantuffi, tanto quello di gesso quanto quello di metallo, si trovino al punto più basso della loro corsa. Al salire dello stantuffo di gesso, l'aria discende dalla camera superiore e si riscalda; quell'aria riscaldatasi tende, come già sappiamo, a dilatarsi ed occuperebbe uno spazio maggiore qualora una porzione delle pareti che la racchiudono potesse cedere alla sua pressione. Questo è appunto il caso nostro, poichè dalla camera calda del cilindro maggiore parte un tubo che mette capo alla base del cilindro minore, proprio al disotto dello stantuffo motore; ecco dunque che l'aria calda, penetrando sotto allo stantuffo motore, può — sollevandolo — espandersi liberamente: il sollevamento dello stantuffo di gesso provoca quindi la salita dello stantuffo motore.

Abbassiamo ora lo stantuffo di gesso: l'aria passa dalla camera inferiore nella camera superiore e quindi si raffredda, ritorna alla primitiva temperatura e per conseguenza perde tutta la maggior tendenza ad espandersi, acquistata durante il momentaneo riscaldamento. Quest'aria non è quindi in grado di esercitare ulteriormente, sullo stantuffo motore, quello sforzo che valse a sollevarlo e che dovrebbe pur continuare se lo stantuffo dovesse rimaner sollevato; la

pressione atmosferica, vinta momentaneamente, riacquista il sopravento ed obbliga lo stantuffo motore a discendere. Bastò dunque far discendere a mano lo stantuffo di gesso, per provocare, contemporaneamente, anche la discesa dello stantuffo motore. Da ciò si comprende come alternatamente sollevando ed abbassando lo stantuffo di gesso con la mano, lo stantuffo motore si muoverà anche esso e farà girare necessariamente l'albero motore, il volante ad esso congiunto e tutti gli altri organi della macchina. Ma sarà proprio necessario che un uomo perda il suo tempo a manovrare quel gambo? No certo, basterà congiungere, mediante un eccentrico, l'albero motore con la sommità del gambo dello stantuffo di gesso, ed una volta impresso a mano il primo impulso a quel gambo, la macchina continuerà a muoversi fino a che la camera inferiore sarà mantenuta calda e la camera superiore sarà mantenuta fredda.

La macchina Laubereau si serve sempre della stessa massa d'aria che or si riscalda, or si raffredda; queste alternative si susseguono con incredibile rapidità; la macchina che figurava alla Esposizione del 1867 faceva 500 giri al minuto: quindi nel breve spazio d'un minuto, la stessa massa d'aria passava 500 volte da altissima a bassissima temperatura e viceversa.

Questa macchina dotata di molti pregi riesce d'applicazione vantaggiosa quando si tratta di sviluppare piccolissime forze, inferiori a quella d'un cavallo, come è frequente il caso nella fabbricazione a domicilio. Volendo impiegare questa macchina per lo sviluppo di grandi forze, converrebbe assegnarle grandissime dimensioni, il che ben si comprende riflettendo che nella macchina Laubereau, come in ogni altra macchina ad aria calda, non si può elevare oltre ad un

certo limite (circa 300° C.) la temperatura dell'aria che fa andare la macchina, senza compromettere la durata dei materiali che la compongono e delle guarniture, e non si osa neppure raggiungere quel limite. Ora a quella temperatura l'aria possiede la pressione assoluta di circa due atmosfere (Vedi in proposito la nota a pag. 238), il che corrisponde ad una pressione utile di meno di un'atmosfera. Da ciò si scorge quali dimensioni converrebbe assegnare al cilindro motore per ottenere, con questa debole pressione iniziale, una forza pari a quella delle macchine a vapore, in cui la pressione utile iniziale è d'ordinario di 3 a 5 atmosfere.

III

MACCHINE A GAS.

Il francese Lebon, l'inglese Braun e l'italiano De Cristoforis. — Vantaggi comuni a tutte le macchine a gas. — Accensione e scoppio delle mescolanze di gas illuminante ed aria atmosferica. — Due sistemi di macchine a gas.

Nel principio di questo secolo, Lebon (1), l'inventore dell'illuminazione a gas, pensò per primo di dotare la meccanica d'una nuova forza motrice, giovandosi dell'accensione di mescolanze gasose. Tuttavia questo concetto si concretò soltanto nel 1835 per opera del macchinista Braun che ottenne dal governo inglese un brevetto per l'invenzione d'un motore animato dalla forza esplosiva di un miscuglio d'aria atmosferica e di gas idrogeno carburato.

(1) Filippo Lebon nacque in Francia, nel dipartimento dell'Alta-Marna nel 1768, morì trucidato a Parigi il 2 dicembre 1804. Ne riparleremo discorrendo dell'illuminazione a gas.

Alcuni anni dopo, il milanese Luigi De Cristoforis (1) cui non erano nole queste prime ricerche, considerando gl'inconvenienti delle macchine a vapore, e sopratutto il tempo notabile e le molte calorie (2) che impiegano nel portar l'acqua all'ebollizione, calorie che vanno perdute quando le macchine cessano di operare, si studiava per egli di porgere all'industria tal forza motrice da poterne eccitare e sospendere l'azione con rapidità, senza precedente consumo, senza perdite finali, senza gl'incomodi ed i pericoli del vapore.

Sperava anzi di aver bene iniziala la soluzione di questo problema colla macchina *igneopneumatica* da lui imaginata e sino dal 1841 costruita e fatta riporre nel gabinetto tecnologico del reale Istituto Lombardo di Scienze, Leltere ed Arti. Serviva essa a produrre in un corpo di tromba una rarefazione capace di sollevare rilevanti masse d'acqua, facendovi esplodere una miscela d'aria e di vapori di nafta. Ed invero negli atti dell'Istituto Lombardo (Milano 1842, Tomo II, pag. 22) si legge, che per questo mezzo e col consumo di un volume d'olio, potevansi innalzare dieci mila volumi d'acqua all'altezza di un metro. Pareva anzi che l'apparecchio potesse rendersi idoneo ad effetti veramente utili, dacchè il suo inventore era riuscito

(1) Vedi il rapporto dei signori Codazza, Hajech e Magrini intorno al nuovo motore a gas di Barsanti e Matteucci negli *Atti del Reale Istituto Lombardo di scienze, lettere ed arti*. Vol III, fasc. XVII-XVIII

(2) Dicesi *caloria* la quantità di calorico necessaria a portare un chilogramma d'acqua dalla temperatura 0°C. (essendo l'acqua liquida) alla temperatura di 1°C. — Per rappresentare in modo più concreto, per via di esempi, il valore di caloria, accenneremo il numero di calorie sviluppato nella combustione di un chilogramma di diversi combustibili

Castagno	calorie 3174	Coke (in media)	calorie 6000
Noce	» 3215	Carbone fossile	» 7750
Rovare	» 3323	Carbone di legno	» 7800

a fargli ripetere e continuare l'esplosione ad intervalli regolari, consumando una sostanza poco costosa, senza pericolo di guasti e offese agli astanti. Per il che De Cristoforis aveva concepita la speranza che altri più valenti nella meccanica finirebbero un giorno ad applicare direttamente come potenza motrice la forza esplosiva dei gas.

Questa speranza non rimase vana. Le macchine a gas non sono più un pio desiderio, sono macchine che ormai funzionano regolarmente, specialmente a vantaggio della piccola industria. Si impiega di preferenza il gas illuminante (gas idrogeno bicarbonato) che, nelle città che ne sono fornite, può essere adoperato più comodamente d'ogni altro.

Nelle macchine a gas non c'è focolare, non si abbrucia carbone, non c'è più bisogno di un camino propriamente detto; un tubo che conduca alla macchina il gas illuminante, e un altro che esporti fuori dal locale i prodotti dell'esplosione: ecco tutto quanto si richiede per l'installazione del motore. Se v'è nella città una pubblica condotta d'acqua, si richiederà ancora un tubo che porti l'acqua alla macchina; se non c'è, il motore vien munito di una pompa e di un piccolo serbatoio che tien poco posto, vicino o lontano dalla macchina stessa. Si fa funzionare la macchina, qualunque ne sia la forza, aprendo il robinetto del gas; si arresta la macchina chiudendo quel robinetto; quindi si consuma quel tanto di gas che rigorosamente corrisponde alla forza prodotta ed utilizzata.

Questi son vantaggi comuni a tutti i motori a gas illuminante, di qualunque sistema essi sieno.

Si possono ridurre a due, i metodi coi quali si utilizza il gas illuminante per trarne forza motrice. Entrambi i metodi si fondano sul fenomeno dell'accen-

sione e dello scoppio quasi istantaneo delle mescolanze di gas illuminante ed aria atmosferica, fenomeno che molti dei nostri lettori avranno osservato quando si accendono le lampade a gas munite di tubo di vetro. Quando sia aperto (fig. 60) il robinetto che lascia uscire il gas dal beccuccio, basta approssimare una fiamma alla sommità del tubo di vetro e tosto la mescolanza di gas e d'aria atmosferica che riempie quel tubo, si infiamma con forte scoppio.

« In entrambi i metodi di macchina a gas, scrive ancora il Colombo (1), si introducono contemporaneamente, entro ad un cilindro, del gas illuminante e dell'aria atmosferica, in proporzioni variabili; l'aria atmosferica forma però la maggior parte della mescolanza; mediante una fiamma od anche una semplice scintilla opportunamente introdotta nell'interno di quel cilindro si provoca l'accensione e lo scoppio della mescolanza. In entrambi i sistemi, una continua circolazione d'acqua mantiene a bassa temperatura le pareti del cilindro in cui avviene l'esplosione, e così i vari pezzi della macchina non si trovano esposti a quelle elevate temperature che deteriorano tanto rapidamente le macchine ad aria calda. Qui però cessa la comunanza dei due sistemi di macchine a gas illuminante.

Nell'un sistema si utilizza direttamente la forza sviluppata dall'esplosione, dovuta alla subita espansione dei gas combusti e del vapor acqueo che si forma all'atto dell'esplosione della mescolanza. Quei gas e quel vapore, dopo aver agito con la loro espansione sulla faccia di uno stantuffo, passano in un tubo di scarico e vanno a gettarsi nell'atmosfera. Su questo principio si fonda la macchina Lenoir. Si può anche

(1) Vedi il citato ANNUARIO, Vol. IV, pag. 559

aumentare la forza d'espansione ed utilizzare maggiormente il calore dell'esplosione, introducendo nel cilindro un getto di acqua; quest'acqua assorbe calorico e si trasforma in vapore, che agendo per espansione concorre a spingere lo stantuffo motore. Questo è il fondamento della macchina Hugon.

Nell'altro sistema invece, la forza d'esplosione o non si utilizza o si utilizza solo in minima parte, ma si approfitta del grande abbassamento di pressione che ha luogo immediatamente nel cilindro, dopo l'espansione — che si verifica non appena è succeduta l'esplosione — e del voto parziale, prodotto dallo scoppio della mescolanza, per lasciar agire la pressione atmosferica sull'altra faccia dello stantuffo; con che si ha una macchina atmosferica ed a semplice effetto. È questo il principio del motore Barsanti e Matteucci.

Fig. 90 ACCENSIONE D'UNA MESCOLANZA D'ARIA E GAS ILLUMINANTE

Due metodi vi hanno anche per accendere la miscela gasosa al momento opportuno, l'uso della scintilla elettrica ottenuta col rocchetto di Ruhmkorff, applicato nelle macchine Barsanti e Lenoir, e l'applicazione, estremamente ingegnosa, di un becco di gas, dovuta ad Hugon. »

IV.

IL MOTORE BARSANTI E MATTEUCCI.

Esperienze eseguite nel 1856 a Firenze nell'officina della ferrovia *Maria-Antonia*. — Macchina a gas della forza di dodici cavalli costrutta a Zurigo, altra di minor forza costrutta a Milano. — Descrizione e giudizio dei commissari dell'Istituto Lombardo — Un consiglio del prof Colombo — La macchina prussiana Otto e Langen, premiata all'Esposizione del 1867, è la copia della macchina italiana Barsanti e Matteucci.

Riserbandoci ad esporvi fra breve entrambi i metodi d'accensione, vogliamo dare ora la storia del motore Barsanti e Matteucci, riferendo testualmente alcuni brani del già citato rapporto dei signori Codazza, Hajech e Magrini.

« Nel 1852 il padre Barsanti (1), professore di meccanica nelle scuole Pie di Firenze, in concorso del signor Felice Matteucci, intraprendeva una serie di ricerche sperimentali dirette ad ottenere una forza regolare e continua dell'accensione delle miscele gasose. Senza avere avuto sentore dei primi tentativi di De Cristoforis, il professore Barsanti adottava lo stesso suo principio di valersi della esplosione per generare il vuoto e rendere quindi operativa la pressione atmosferica, come nel cilindro di Papin (2). — Vedeva in ciò la possibilità, non solo di evitare gli

(1) Eugenio Barsanti nacque da onesti genitori in Pietrasanta il 12 ottobre del 1821, ed entrò nelle *Scuole Pie* nell'anno 17.° della sua età. Quivi fu professore delle scienze filosofiche e matematiche, e studiò con molto amore e profitto la meccanica applicata. Il 12 aprile 1864 morì di tifo all'estero dove si era portato per studiare con più efficacia la macchina di cui ora discorriamo.

(2) Vedi in proposito quanto fu detto a pagina 60 di questo volume.

urti subitanei, ma di risparmiare altresì buona parte del gas infiammabile; imperocchè, mentre la forza esplosiva agisce, come si è detto, per un solo impulso istantaneo, la pressione atmosferica opera invece sullo stantuffo con intensità costante per la intera durata della sue corsa.

La questione da risolvere consisteva adunque nel concepire un meccanismo, che non solo rinnovasse con molta frequenza e nella debita quantità l'introduzione e l'accensione del miscuglio detonante, ma rigettasse altresì i prodotti ed i residui della combustione e sopratutto che svincolasse gli stantuffi nella loro andata, e li collegasse con prontezza e stabilità all'asse motore, nella corsa di ritorno.

Nel 1856 i signori Barsanti e Matteucci mostrarono la possibilità di ottenere questi risultati colla produzione di una macchina, la quale, sebbene imperfettamente, comunicava nell'officina della ferrovia, allora *Maria-Antonia*, in Firenze, un movimento sufficientemente regolare ad una forbice e ad un trapano.

Gli inventori fiorentini associatisi più tardi col signor Giovanni Battista Babacci (cui devesi l'idea di far succedere la combustione fra i due stantuffi lasciati liberi nell'atto dell'esplosione), impresero a far costruire su questo principio nell' officina Benini di Firenze una seconda macchina a due cilindri, la quale, veduta in azione, deve aver fatto concepire grandi speranze sulla possibilità che la nuova forza motrice potesse applicarsi con vantaggio su vasta scala, perciocchè in brevissimo tempo si è costituita una società anonima per continuare le esperienze sopra argomento di tanta importanza.

E questa società deliberava di affidare la costruzione di una terza macchina con due cilindri oriz-

zontali, più grandiosa della precedente, cioè della forza nominale di dodici cavalli, alla rinomata officina Escher Wyss e C. di Zurigo; macchina che venne difatti montata ed esposta al pubblico nel locale della società medesima in Firenze, ove trovasi tuttora. Bisogna dire che il suo modo d'azione fosse soddisfacente, dacchè invogliò parecchi industriali a farne ricerca.

Siccome poi il maggior numero delle domande era per macchine di piccola forza, così la società deliberava di far costruire una macchina della forza non maggiore di quattro cavalli, per servire di modello alle altre.

Questa piccola macchina fu eseguita nel 1863 nella officina della ditta Bauer e C., a Milano, in base al sistema chiamato *misto* dagli inventori, in quanto che, oltre alla pressione atmosferica, utilizza anche una parte della forza espansiva della miscela detonante, con molta semplicità di meccanismo; e si è creduto potersi ciò fare senza inconvenienti, trattandosi di apparati che non devono eccedere la forza di quattro cavalli.

La commissione dell'Istituto Lombardo così descrive il modello testè accennato della forza di quattro cavalli:

« Entro un cilindro verticale si dà moto a due stantuffi per contrarii versi in guisa, che quando uno s'innalza, l'altro si abbassa, e quindi ora si allontanano per l'intera corsa, ora si avvicinano fra loro quasi fino al contatto. Lo stantuffo inferiore ha per altro una corsa più breve del superiore, nè mai è libero, trovandosi sempre collegato coll'asse motore. Il suo principale ufficio consiste nell'aspirare la miscela gasosa; riceve poi anche gli impulsi della forza esplosiva.

Nell'angusto spazio che rimane fra i due stantuffi ravvicinati, viene introdotta la miscela mediante cassettino avente due canali, uno in comunicazione col gasometro, l'altro col-

l'atmosfera, ambedue muniti di valvola che si apre dall'infuori all'indentro per aspirazione. Questo cassettino è messo

Fig 61. EUGENIO BARSANTI.

in moto da un eccentrico infisso sull'albero di un volante, e la miscela si accende con scintille tratte da un apparato elettro-magnetico di Rubmkorff. All'atto della infiammazione,

lo stantuffo superiore, trovandosi affatto libero, cede prontamente e senza scosse perniciose, all'impulso della forza esplosiva, e si allontana dall'altro fino al termine della sua corsa, ove per un semplicissimo congegno, va subito ad impegnarsi con la resistenza.

E come avviene che il corpo della pompa presto si scalda, così va esso munito di un inviluppo, in cui circola l'acqua fredda che manda sprazzi continui anche nell'ampia camera formata dai due stantuffi. Ivi si condensano i gas ed i vapori, ivi si genera per conseguenza una rarefazione, che rende operativa sui medesimi stantuffi buona parte della pressione atmosferica, divenuta la forza motrice dell'apparato.

Un secondo cassettino mosso da un altro eccentrico infisso sull'albero del secondo volante, perfettamente eguale al primo, espelle dal corpo della trombe i prodotti della combustione. Si comprende che la forza motrice cessa di agire, appena i due stantuffi ritornano alla minore distanza, ove di nuovo si introduce la miscela detonante; e per l'avvicendarsi di questo loro *va e viene* si riproduce sempre l'effetto di raccogliere sui due volanti gl'impulsi successivi, facendoli cospirare, ossia trasformando questi impulsi in un moto continuo circolare, suscettibile di essere versato in qualunque strumento produttore. »

Dalle esperienze istituite dalla citata commissione, risultò che questa macchina consumava circa 500 litri di gas portatile per cavallo e per ora; il che, avuto riguardo alla maggiore ricchezza di questo gas, corrisponde ad un consumo di circa 800 litri di gas ordinario per cavallo e per ora.

Il sistema che serve di base a questa macchina è bello ed economico; ha però un difetto capitale: l'accensione istantanea della miscela gasosa produce in tutto l'apparecchio, urti e vibrazioni dannosissime che ne compromettono la durata.

Finchè, dica il prof. Colombo, la macchina atmosferica a gas illuminante non si libererà da queste dannosissime scosse, *non sarà mai una macchina pratica*. Del resto non si può dire ancora che il problema

non ammetta un'altra soluzione. Se finora l'accensione istantanea, nel motore Barsanti e Matteucci, fu un accessorio obbligato della macchina atmosferica a gas illuminante, non è detto perciò che debba esserlo sempre. Diciam questo, perchè sappiamo di altri tentativi che si vanno facendo da noi per migliorare il motore Barsanti, mantenendone intatto il principio, ma modificandone intieramente il congegno; vogliamo alludere con ciò alla macchina del signor Babacci, il quale è come il successore e l' erede dell' idea di Barsanti ed ha già fatto conoscere i primi risultati delle sue ricerche. Noi non possiamo augurargli che una cosa: che non incontri quanto incontrano gli inventori in Italia, l'opposizione o l' indifferenza; e non vogliamo dargli che un consiglio, quello cioè di portare la sua invenzione all'estero, appena essa avrà forma e proporzioni pratiche; probabilmente essa sarà meglio apprezzata che nel suo proprio paese.

Queste amare parole non sono che troppo giuste quando si consideri la misera condizione in cui trovansi ridotti gli inventori italiani in generale, e a questo proposito possiamo senza uscire d' argomento narrare un fetto speciale di grande importanza, servendoci ancora delle parole del prof. Colombo.

« All' Esposizione universale del 1867 nella sezione prussiana figurava una macchina a gas, esposta dai signori Otto e Langen, la quale fu ritenuta del tutto nuova, fece molta sensazione ed ottenne, unica fra le macchine a gas, una medaglia d'oro.

« Per noi italiani, questa macchina doveva destare la più dolorosa impressione; avrebbe dovuto destare un sentimento universale di vergogna, se la generalità del pubblico sapesse davvero quanto si fa in paese e non fosse piuttosto non curante dei tentativi che vi

si fanno, anzi scettica affatto a loro riguardo. La macchina prussiana, benchè non si possa punto dubitare che sia una invenzione originale del signor Langen, che ne ebbe l'idea qualche anno fa, è PURAMENTE E SEMPLICEMENTE LA MACCHINA BARSANTI E MATTEUCCI DA MOLTI ANNI PUBBLICATA E CONOSCIUTA IN ITALIA. Se non che, come avviene sempre in Italia, si nominarono commissioni per giudicarla, se ne ebbero rapporti favorevoli, ma non si seppe mai formare una società seria che ne spingesse l'applicazione o ne facesse conoscere all'estero i pregi; e Barsanti, l'inventore della macchina, morì senza aver avuta la soddisfazione di saperla apprezzata. Gli elogi tributati ora alla macchina Otto e Langen, avrebbero dovuto essere il compenso delle pene, degli stenti, dei dispiaceri che l'invenzione dovette costargli; ma non gli era riserbato di goderne; anzi fu abbastanza fortunato di morire prima di vederli così largamente tributati ad un altro.

« Il brevetto francese del motore Barsanti e Matteucci *data dal* 9 *gennaio* 1858. Tutti i lineamenti caratteristici della macchina Langen vi si trovano, il cilindro verticale, lo stantuffo libero durante l'espansione e che si innesta coll'albero motore nella corsa di ritorno. La sola differenza consiste in ciò, che nel motore Barsanti c'è un secondo stantuffo, il quale mentre serve ad attutire l'urto inevitabile nel momento in cui il primo è lanciato in su dall'esplosione, utilizza anche in piccola parte, la forza dell'esplosione, facendola servire al passaggio dei punti morti; nel motore Barsanti la mescolanza gasosa viene accesa con la scintilla elettrica, mentre nella macchina Langen, quest'accensione ha luogo con una fiammella a gas secondo il sistema del francese Hugon. »

V.

LA MACCHINA LENOIR.

Ingegno e perseveranza. — Lauti compensi. — Gl'*infiammatori*, il rocchetto di Ruhmkorff, la scintilla elettrica. — La macchina Lenoir in azione. — Sistema Hugon per l'accensione della mescolanza gasosa con una fiammella a gas portata dal cassetto di distribuzione.

La figura 62 rappresenta il *motore Lenoir* veduto di fronte, la figura 63 rappresenta una sezione orizzontale, la figura 64 una sezione verticale di questo motore. Come si scorge dall'esame di queste figure, il motore Lenoir presenta molta analogie con le macchine a vapore a cilindro orizzontale.

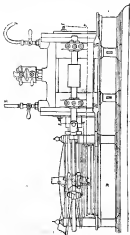
L'inventore Lenoir, era, a Parigi, semplice operaio montatore in una fabbrica di bronzi. Preoccupatosi della ricerca d'un nuovo motore, riescì a forza d'ingegno e di perseveranza a costruire il motore che ora descriveremo. Questo motore funzionò per la prima volta a Perigi nell'officina Levêque nel meggio 1860.

Lenoir trovò largo compenso alle sue fatiche; la sua invenzione fu ben presto apprezzata da tutto il mondo civile; se non siamo male informati, uno speculatore spagnuolo avrebbe acquistato per 100,000 franchi il diritto di privaliva in Ispagna, Brasile ed Avana, ed è verosimile che la cessione del diritto di privativa per altri paesi abbia del pari fruttati ingenti e ben meritati compensi all'inventore. Passeremo ora a descrivervi questa macchina ingegnosa:

Nell'interno d'un cilindro orizzontale C, può scorrere a dolce sfregamento uno stantuffo K (fig. 63) dal quale si stacca un'asta che attraversa a tenuta d'aria e di gas, uno dei due fondi del cilindro. Quando il motore è in esercizio, lo stantuffo K acquista un movimento alternato di va e vieni da destra a sinistra e viceversa, per conseguenza, anche l'asta si muove in modo analogo; il movimento di va e vieni dell'asta è trasmesso, mediante biella e manovella, come nelle macchine a vapore a cilindro orizzontale, ad un albero ed esse che assume un movimento circolare continuo che può essere utilizzato per animare qualsiasi organo operatore.

Il cilindro motore è esternamente circondato da un involucro, di diametro alquanto maggiore del diametro esterno del cilindro; perciò fra la superficie esterna di quest'ultimo e la superficie interna dell'involucro, rimane uno spazio anulare, chiaramente visibile nella fig. 64 ove è indicato con le lettere E E. Un velo di acqua fredda proveniente da un serbatoio superiore percorre continuamente quello spazio anulare ed impedisce quindi al cilindro di acquistare elevata temperatura per le accensioni di miscela gasosa che si rinnovano senza tregua nell'interno del cilindro. Quel serbatoio è alimentato da una pompa messa in movimento dalla stessa macchina. Sui due fianchi del cilindro maggiore — che serve di involucro al cilindro motore — sono addossati due cassetti, l'uno che copre la capacità T, regola l'ammissione della mescolanza gasosa nel cilindro motore; l'altro cassetto, che copre la capacità T', regola lo scarico, nell'atmosfera, dei prodotti della combustione (vapor acqueo ed acido carbonico) che si sviluppano nell'interno del cilindro, ad ogni corsa dello stantuffo. Entrambi quei cassetti vengon messi in movimento da eccentrici fissati, come nelle macchine a vapore, sull'asse della macchina. Un tubo G (fig. 63) proveniente dalla condotta del gas illuminante o da apposito serbatoio, si biforca in vicinanza al cilindro, entrambi i rami in cui questo tubo si bipartisce son provveduti di robinetto; a seconda che rimane aperto l'uno o l'altro di questi due robinetti, il gas illuminante penetra nell'una o nell'altra delle due capacità in cui lo stantuffo divide il cilindro. Quando il cassetto occupa la posizione indicata dalla fig. 63, il gas illuminante giunge nella capacità sinistra dello stantuffo, dopo aver attraversata la camera T nella quale si è mescolato con aria atmosferica, giuntavi pel tubo A (fig. 64).

Lo stantuffo incomincia a muoversi verso destra e, grazie

Fig. 62. MOTORE LENOIR VEDUTO DI FRONTE

a questo movimento, aspira nuova aria e nuovo gas nella capacità sinistra del cilindro.

Quando codesta capacità è sufficientemente riempiuta di aria e gas, la macchina stessa chiude l'ingresso all'aria ed al gas; nel medesimo istante scocca — come spiegheremo fra breve — una scintilla elettrica, nella capacità sinistra del cilindro. La mescolanza d'aria e gas illuminante esplode, l'idrogeno contenuto nei gas illuminante si combina con una parte dell'ossigeno dell'aria producendo acqua a vapor acqueo,

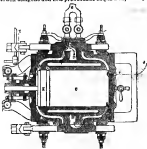



Fig. 63 MOTORE LENOIR, SEZIONE ORIZZONTALE.

il forte calore che risulta da questa combinazione, dilata enormemente i gas non combinatisi e perciò questi spingono lo stantuffo fino al termine della sua corsa ossia fin presso al fondo destro del cilindro.

Nel frattempo escono dalla capacità destra del cilindro, passano nella camera T e si scaricano nell'atmosfera, tutti i residui della combustione precedentemente operatasi in questa capacità.

Mentre lo stantuffo sta per toccare il fondo destro del cilindro, il movimento generale della macchina inverte la po-

sizione dei due cassetti, la mescolanza d'aria e gas illuminante penetra nella capacità destra del cilindro, si infiamma in virtù dell'elettrica scintilla; i gas dilatati spingono lo stantuffo verso sinistra, nel mentre i prodotti della combustione precedente, esistenti nella capacità sinistra del cilindro, passano nell'atmosfera, grazie alla nuova posizione assunta dal cassetto di scarico comunicante con T'. Lo stantuffo, continuando così a scorrere da destra a sinistra e viceversa, imprime, mercè la biella e la manovelle, un continuo movimento di rotazione all'albero motore.

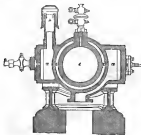



Fig. 64 MOTORE LENOIR, SEZIONE VERTICALE.

Uno dei pregi principali del motore Lenoir consiste nel modo con cui si opera la mescotanza dell'aria col gas illuminante. Grazie ad esso, l'esplosione prodotta dallo scoccare della scintilla elettrica, non è istantanea, l'infiammazione dei gas è graduale e non dà quindi luogo ad urti e scosse violente che comprometterebbero in breve la durata della macchina. Lenoir

raggiunse lo scopo, costruendo molto ingegnosamente il cassetto che regola l'ammissione del gas ora nell'una, ora nell'altra delle due capacità del cilindro. Però i limiti di questo scritto non ci permettono di descrivere minutamente la conformazione di questo cassetto.

Dobbiamo dirvi ora in qual modo si può far scoccare la scintilla elettrica, nell'istante voluto, ora nella capacità destra, ora nella capacità sinistra dello stantuffo.

Nel basamento che porta il cilindro motore è collocata una batteria elettrica composta di due elementi di Bunsen che mantengono in attività un rocchetto d'induzione di Ruhmkorff. Da ciascuno dei due poli di questa batteria elettrica, parte un filo metallico; il filo che parte dal polo negativo, giunge a contatto col cilindro, il quale essendo di metallo è ottimo conduttore dell'elettricità, sussiste quindi una continua comunicazione elettrica fra la batteria ed il cilindro, l'altro filo, quello che parte dal polo positivo, si biforca, ciascuna delle sue due estremità attraversa un forellino praticato in un cilindretto di porcellana (o d'altra sostanza isolante), il quale attraversa, alla sua volta, a tenuta d'aria, lo spessore dei fondi del cilindro. Con tale disposizione, ciascuno dei due fondi del cilindro è attraversato dal filo conduttore, pur sussistendo l'isolamento fra questo filo ed il cilindro metallico. L'estremità di questo filo, foggiato in punta aguzza cui si dà il nome di *infiammatore*, si protende per breve tratto nelle due capacità, destra e sinistra del cilindro; ogni qualvolta, mercè la disposizione che descriveremo fra breve, il circuito elettrico rimane chiuso, la scintilla scocca dalla punta aguzza ed infiamma la mescolanza gasosa che occupa la capacità destra o sinistra dello stantuffo, a seconda che lo stantuffo si dirige rispettivamente a sinistra ovvero a destra. Nelle fig. 62 a 63, i fili conduttori sono indicati dalle punteggiate *f f*. L'apparecchio che serve a provocare ora la chiusura, ora l'interruzione del circuito elettrico, è rappresentato, nella fig. 62, in *a b c d*. Il circuito elettrico si chiude e quindi scocca la scintilla in una delle due capacità del cilindro, nell'istante in cui lo stantuffo muovendosi verso l'altra capacità, ha aspirato, dietro a sè, sufficiente quantità di miscela gasosa.

La fig. 65 varrà a far comprendere l'ingegnosa disposizione che permette di ottenere la chiusura del circuito, e quindi lo scoppio della scintilla, nell'istante opportuno. Tre piastre metalliche *a b*; *c d*; *e f* (che veggonsi, in scala più piccole, anche nella fig. 62) sono fissate, orizzontalmente, sul sostegno che porta tutta la macchina, la piastra *a b* comunica, mediante filo metallico, col polo positivo della batteria elettrica; la piastre *c d*, *e f* comunicano mediante fili metallici, l'una con uno, l'altra con l'altro dei due *infiammatori*; queste due piastre sono quindi in comunicazione elettrica col polo negativo. L'asta o gambo dello stantuffo, che nella fig. 65 è rappresentata da due linee rette parallele, scorre orizzontalmente da destra a sinistra e viceversa, mantenendosi sempre parallela a quelle tre piastre. All'estremità dell'asta dello stantuffo è applicata trasversalmente una molla d'acciaio; quando l'asta occupa la posizione indicata nella fig. 65, la molla d'acciaio stabilisce una comunicazione elettrica fra la piastra *a b* e la piastra *c d*; quando l'asta, muovendosi da sinistra verso destra, sarà prossima al termine della sua corsa, quella molla d'acciaio stabilirà analogamente una comunicazione elettrica fra la piastra *a b* e la piastra *e f*. Notiamo infine che il tratto *d e* è ricoperto d'una lastrina di vetro o d'altra sostanza isolante; con tale disposizione, l'estremità superiore della molla d'acciaio — trascinata dal movimento, verso destra, dell'asta dello stantuffo — varcherà tutto il tratto *d e* senza trovarsi in comunicazione elettrica col polo negativo cui sono congiunte le due piastre *c d*, *e f*; in altri termini: le corrente che giunge dall'apparecchio d'induzione alla piastra *a b* passa alternatamente, attraverso alla molla d'acciaio, ora nella piastra *c d*, ora nella piastra *e f* e passa quindi mercè i fili conduttori, ora nell'uno, ora nell'altro dei due infiammatori.

Ciò posto vediamo come la macchina funziona. Supponiamo che lo stantuffo sia prossimo al fondo sinistro del cilindro e facciamo girare a mano, per breve tratto, il volanta per far così progredire lo stantuffo alcun poco verso destra; lo stantuffo lascerebbe il vuoto dietro sè, se la posizione del cassetto superiore (fig. 63) non permettesse l'ingresso della miscela gasosa nella capacità sinistra del cilindro; la miscela spinta dalla esterna pressione si precipita in quella capacità; e riempie il vuoto rimasto dietro allo stantuffo, nella capacità sinistra del cilindro. Lo stantuffo trae seco anche l'asta

e la molla d'acciaio, questa viene finalmente a contatto con l'estremità *e* della piastra *e f*, (fig. 65) il circuito elettrico risulta chiuso, la corrente elettrica giunge all'infiammatore sinistro, la scintilla scocca ed accende la mescolanza gasosa. L'idrogeno del gas illuminante si combina con l'ossigeno dell'aria producendo un rilevante svolgimento di calorico; i gas contenuti nella capacità sinistra del cilindro, aumentano rapidamente di volume e spingono lo stantuffo fino al termine della sua corsa; la manovella supererà il punto morto in virtù della velocità acquistata dal volante e così lo stantuffo incomincierà a indietreggiare verso sinistra. In pari tempo il cassetto inferiore avrà mutata posizione, i gas rimasti nella capacità sinistra del cilindro passeranno nella

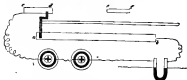



Fig. 65. APPARECCHIO CHE REGOLA LO SCOPPIO DELLA SCINTILLA ELETTRICA.

camera T' e di là si recheranno nell'atmosfera. Lo stantuffo muovendosi verso sinistra promuoverà l'ingresso della miscela gasosa nella capacità destra del cilindro; giungerà un istante in cui la molla d'acciaio — fissata sul gambo dello stantuffo — toccherà l'estremità *d* della piastra *d c*, allora la corrente elettrica giungerà all'infiammatore destro, scoccherà la scintilla e lo stantuffo continuerà a muoversi verso sinistra per l'espansione dei gas infiammati nella capacità destra del cilindro. La manovella supererà il secondo punto morto, lo stantuffo ricomincerà a muoversi verso destra e ripetendosi le fasi già indicate, la macchina continuerà a muoversi fino a che continuerà ad entrare la miscela gasosa e la corrente elettrica sarà mantenuta.

La motrice a gas di Hugon presenta grandissima analogia con quella di Lenoir ora descritta, diversifica però essenzialmente nel sistema impiegato per provocare l'accensione della mescolanza gasosa nell'interno del cilindro motore.

Hugon rinunciò all'impiego dell'elettricità e sostituì ad essa due fiammelle di gas illuminante; una di queste rimane immobile e costantemente accesa al di fuori del cilindro. In una piccola cameretta, praticata nell'interno del cassetto, che regola l'ingresso della miscela gasosa, ora nell'una ora nell'altra delle due capacità del cilindro, è collocato un beccuccio di gas, disposto in guisa da lambire la fiammella fissa ad ogni corsa del cassetto.

Passando dinanzi alla fiammella fissa, quel beccuccio a gas si accende; nel movimento di ritorno del cassetto, quel beccuccio acceso trovasi in comunicazione colla miscela gasosa che riempie una delle due capacità del cilindro ed accende la miscela; la forza dell'esplosione estingue tosto il beccuccio. Questo si riaccende nuovamente ripassando, poco dopo, in vicinanza alla fiammella fissa che sta al di fuori; il movimento inverso del cassetto porta il beccuccio acceso a contatto con la miscela gasosa che occupa l'altra capacità del cilindro, e così via.

Per utilizzare maggiormente il forte calorico che si svolge nell'atto della combustione della miscela gasosa, Hugon introduce un piccolo getto d'acqua nella capacità del cilindro, in cui ha luogo l'esplosione. Quell'acqua si trasforma tosto in vapore, questi concorre, con la sua elasticità, a spingere lo stantuffo verso l'altro estremo del cilindro. Con tale disposizione si guadagna anche da un altro lato, i movimenti della macchina risultano più dolci, il metallo che la com-

pone non si riscalda tanto quanto nella macchina Lenoir e si può quindi diminuire la quantità d'acqua che deve continuamente circolare per impedire l'eccessivo riscaldamento del cilindro. Grazie a queste modificazioni le macchine Hugon della forza di due a tre cavalli, consumano due metri e mezzo di gaz per cavallo e per ora mentre nelle macchine Lenoir di egual forza il consumo di gas varia dai tre metri ai tre metri e mezzo.

FINE

INDICE

LE MACCHINE A VAPORE

XV.

XVI.

Invenzione finale della macchina a vapore.

XVII

XVIII

Ultimi anni di Watt.

XIX

I perfezionamenti delle macchine a vapore.

XX

XXI.

Principali organi delle macchine a vapore.

INDICE DELLE INCISIONI